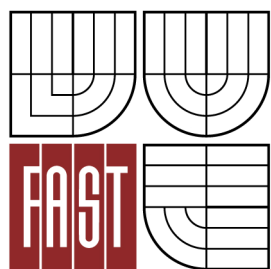




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

# NOVÉ SMĚRY V OBLASTI ASFALTOVÝCH KOBERCŮ MASTIXOVÝCH

NEW TRENDS IN THE FIELD OF STONE MASTIC ASPHALTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MAGDALÉNA PFEIFEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2012



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Magdaléna Pfeiferová
<b>Název</b>	Nové směry v oblasti asfaltových koberců mastixových
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2011
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	13. 1. 2012

V Brně dne 31. 3. 2011

.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

**Podklady a literatura**

ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 5: Asfaltový koberec mastixový  
ČSN 73 6121 Stavba vozovek - Hutnění asfaltové vrstvy - Provádění a kontrola shody  
ČSN EN 13036-4 Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch - Zkušební metody - Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu - Zkouška kyvadlem  
Německá literatura týkající se nízkohlučných asfaltových koberců mastixových.

**Zásady pro vypracování**

Po pokládce ohrusné vrstvy z asfaltového koberce mastixového bude provedeno zkušební podrcení povrchu s různým dávkováním použité frakce předobaleného kameniva. Na pokusném úseku budou následně stanoveny protismykové vlastnosti pomocí kyvadla současně se stanovením makrotextury. Z měření bude odvozeno optimální dávkování materiálu pro podrcení. Další část diplomové práce bude věnována problematice návrhu a zkoušení nízkohlučných asfaltových koberců mastixových, stanovení jejich základních vlastností a porovnání se standardními úpravami mastixových koberců.

**Předepsané přílohy**

1. Všeobecný popis charakteristik asfaltových koberců mastixových
2. Popis protismykových vlastností vozovek a jejich měření
3. Vyhodnocení drsnosti na podrcených úpravách
4. Návrhy nízkohlučných asfaltových koberců mastixových
5. Srovnání vlastností nízkohlučných koberců a standardních úprav
6. Formulování závěrů

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....

doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí diplomové práce

**Abstrakt**

Práce se skládá ze dvou částí. První část je zaměřená na stanovení protismykových vlastností na zkušebním úseku na ulici Vídeňská. Protismykové vlastnosti budou zjišťovány pomocí kyvadla a současně se stanoví makrotextura. Mikrotextura se změří pomocí odměrné metody. V druhé části se snažíme získat první zkušenosti s návrhem a zkoušením nízkohlučných asfaltových koberců mastixových. Stanovujeme jejich základní vlastnosti a současně je porovnáváme se standardním asfaltovým kobercem mastixovým. Pro porovnání jsou použity dva různé druhy asfaltových pojiv. Srovnávána je odolnost vůči účinkům vody, odolnost proti tvorbě trvalých deformací, a moduly tuhosti.

The work consists of two parts. The first part is focused on the determination of an anti-skid properties of the test section on Vídeňská street. The anti-skid properties will be measured using a pendulum tester and macrotexture will be set at the same time. Microtexture will be measured using a volumetric patch technique. In the second part we will try to gain an initial experience with design and testing of a low noise stone mastic asphalt. We will set basic characteristics and at the same time compare with a standard stone mastic asphalt. For the comparison two various bituminous binders are used. The water sensitivity, resistance against rutting and stiffness moduli are compared.

**Klíčová slova**

Protismykové vlastnosti, drsnost, makrotextura, mikrotextura, kyvadlo, odměrná metoda, asfaltové koberce mastixové, nízkohlučné asfaltové koberce mastixové, odolnost vůči účinkům vody, odolnost proti tvorbě trvalých deformací, moduly tuhosti.

Anti-skid properties, roughness, macrotexture, microtexture, pendulum tester, volumetric patch technique, stone mastic asphalt, low noise stone mastic asphalt, the water sensitivity, resistance against rutting, stiffness moduli.

### **Bibliografická citace VŠKP**

PFEIFEROVÁ, Magdaléna. *Nové směry v oblasti asfaltových koberců mastixových*. Brno, 2011. 77 s., 16 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce doc. Dr. Ing. Michal Varaus.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně, a že jsem uvedl(a) všechny použité, informační zdroje.

V Brně dne 3.1.2012

.....

podpis autora

Za pomoc při zpracování diplomové práce bych nejvíce chtěla poděkovat doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod do problematiky .....</b>	<b>10</b>
1.1	Cíle diplomové práce .....	12
<b>2</b>	<b>Popis protismykových vlastností vozovek a jejich měření .....</b>	<b>13</b>
2.1	Úvod .....	13
2.2	Základní definice .....	13
2.3	Drsnost povrchu.....	18
2.4	Měřicí přístroje .....	19
<b>3</b>	<b>Vyhodnocení drsnosti na podrcených úpravách.....</b>	<b>25</b>
3.1	Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky pomocí kyvadla (PTV) .....	25
3.1.1	Měření pomocí kyvadla.....	25
3.2	Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky odměrnou metodou (MTD) .....	26
3.2.1	Měření pomocí odměrné metody (kuličky).....	26
3.3	Výsledky měření.....	27
3.3.1	Výsledky pomocí kyvadla.....	27
3.3.2	Výsledky pomocí odměrné metody.....	28
3.4	Závěr .....	30
<b>4</b>	<b>Nízkohlučné povrchové vrstvy a technologie .....</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>Nízkohlučné asfaltové koberce (SMA) – návrhy .....</b>	<b>43</b>
5.1	Základní zkoušky.....	45
5.1.1	Zkoušky kameniva .....	45
5.1.2	Zkoušky asfaltových pojiv .....	52
5.2	Návrh asfaltových směsí.....	56
5.2.1	Návrh asfaltových směsí provedených v roce 2010.....	58
5.2.2	Návrh asfaltových směsí provedených v roce 2011 .....	61
5.3	Zkoušky asfaltových směsí.....	64
5.3.1	Trvalé deformace (zkouška opakovaným pojížděním kolem) .....	64

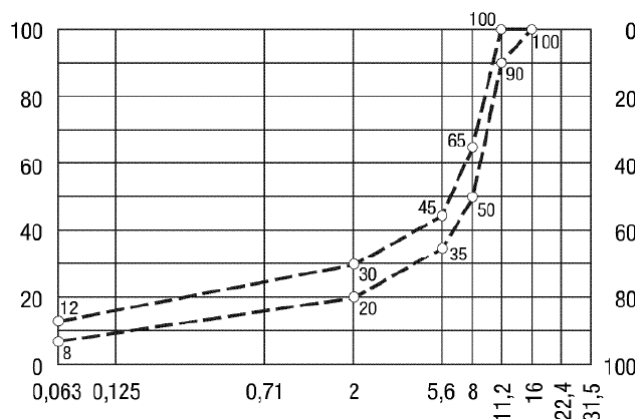


5.3.2	Vodní citlivost .....	66
5.3.3	Moduly tuhosti .....	69
5.4	Výsledky zkoušek.....	71
5.4.1	Výsledky zkoušek provedených v roce 2010 .....	71
5.4.2	Výsledky zkoušek provedených v roce 2011 .....	73
<b>6</b>	<b>Závěry .....</b>	<b>74</b>

# 1 Úvod do problematiky

Asfaltová směs je směs kameniva a pojiva, popř. přísad určená k výstavbě pozemních komunikací a dopravních ploch. Asfaltové směsi se nejčastěji používají pro vrchní obrusnou vrstvu vozovky pro všechny třídy dopravního zatížení. Můžeme tedy mluvit o nejkvalitnějších hutněných asfaltových směsích, na které jsou kladeny vysoké požadavky na kvalitu. Výběrem a zpracováním asfaltové směsi můžeme ovlivnit výsledné parametry povrchu vozovky a tím i bezpečnost provozu. Rozlišujeme tři základní typy asfaltových směsí (Typ – beton (AC – Asphalt Concrete) s plynulou čarou zrnitosti, Typ – makadam (zde řadíme asfaltový koberec mastixový (SMA), drenážní koberec (PA) s přerušovanou čarou zrnitosti), Litý asfalt (MA – Mastic Asphalt), kde kamenivo tvoří pouze výplň směsi).

Jednou z nejvíce používaných asfaltových směsí na vysoké dopravní zatížení je asfaltový koberec mastixový (SMA). Asfaltový koberec mastixový („Stone Mastic Asphalt“) je popsán normou ČSN EN 13108-5. Byl vyvinut v šedesátých letech dvacátého století v Německu Dr. Zichnerem za účelem zlepšení odolnosti povrchu vozovky proti pojezdu vozidel s pneumatikami s hřeby. Jeho základní myšlenkou bylo vytvořit směs, kde hrubá frakce ( $> 2$  mm) vytvoří samonosnou kostru kameniva. Další myšlenkou Dr. Zichnera bylo docílit toho, aby výsledná směs měla mastixovou maltu bohatou na pojivo. Proto Dr. Zichner sestavil směs s výrazně přerušovanou čarou zrnitosti od 0,5 až do 3 mm. Od roku 1984 byla tato směs zapsána do normy a stala se časem nejpoužívanější směsí po celém světě. Směs se výhradně používá pro obrusné vrstvy, protože má schopnost odolávat tvorbě trhlin. Asfaltový koberec mastixový je tvořen směsí kameniva s velmi vysokým podílem drti, silničního asfaltu jako pojiva a stabilizujících přísad. Jeho princip je založen na přerušované čáře zrnitosti, kde kostru tvoří drť a její mezery jsou vyplněny mastixem. Proto musí mít mastix co největší tuhost a lepivost, aby se zabránilo posunům uvnitř kostry. Zamezení stékání asfaltového pojiva je zajištěno pomocí přidání různých přísad (např. celulóza).

**Obr. 1:** Čára zrnitosti u asfaltových mastixových směsí.Výhody asfaltového koberce mastixového:

- + Vozovky z SMA mají delší životnost – pomalý proces stárnutí asfaltového pojiva
- + Menší náklady na údržbu
- + Směs můžeme používat na vysoce zatížených vozovkách, závodních okruzích
- + Mají vysokou odolnost proti trvalým deformacím, vlivům dopravy a klimatu
- + Odolnost proti tvorbě mrazových trhlin
- + Dobré protismykové vlastnosti
- + Dobrá přilnavost k podkladu
- + Mají příznivou makrotexturu – dobré drenážní vlastnosti, útlum hluku od dopravy

Nevýhody asfaltového koberce mastixového:

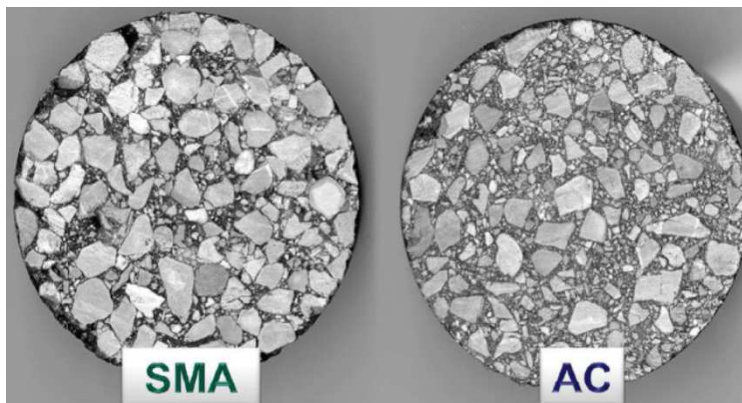
- Celkem vyšší náklady na materiál
- Zvýšená doba míchání směsi
- Delší doba do otevření provozu, z důvodu ochlazení směsi na provozuschopnou teplotu (40 °C), aby se zabránilo stékání pojiva z povrchu
- Počáteční protismykové vlastnosti mohou být nízké

SMA poskytuje odolné, trvalé, tenké povrchové úpravy pro všechny třídy dopravního zatížení, nejvíce pro silně zatížené silnice. Typické složení směsi obsahuje 70 – 80 % hrubého kameniva, 8 -12 % filleru, 6 – 7 % pojiva, 0,3 % vláken. Nejvíce rozpoznáváme směs pomocí typu kameniva, jeho tvarového indexu, tak aby měl co nejnížší otlukovost, a poměr plniva a pojiva. Hlavní kostru celé směsi tvoří kamenivo, které je vyplněno mastixem. Mastix je směs asfaltového pojiva, kameniva do 2 mm a kamenné moučky. V ČR se nejvíce používá

jako pojivo modifikovaný asfalt. Pojivo musíme stabilizovat, a proto přidáváme do směsí vlákna (celulóza, akrylát). Celá směs má pak otevřenou makrotexturu.

Abychom zajistili všechny tyto vlastnosti, musíme dbát na to, aby směs byla dobře navržena a měla vysoký standart při výrobě a pokládce.

**Obr. 2:** Porovnání textury SMA a AC



V době, kdy se neustále zvyšuje počet osobních a nákladních automobilů, klademe velký důraz na kvalitu silničních vozovek. Mimo jiné se zaměříme též na povrchové vlastnosti vozovek.

## 1.1 Cíle diplomové práce

Hlavním cílem diplomové práce je obecné seznámení se s charakteristikou asfaltových koberců mastixových. Vezmeme-li v úvahu fakt, že při výrobě asfaltové směsi použijeme vysoký obsah asfaltu, může dojít k počátečním problémům s protismykovými vlastnostmi. Zaměříme se v diplomové práci na otázku protismykových vlastností, jejich měření na vybraném úseku a následným vyhodnocením výsledků.

Dalším směrem diplomové práce je seznámit se s novou nízkohlučnou směsí asfaltových koberců mastixových. Zejména v Německu probíhají stále nové pokusy se směsmi asfaltových koberců mastixových k vytvoření směsi, která co nejvíce sníží hladinu hluku. V diplomové práci jsem se zaměřila na tyto směsi, porovnání s ostatními nízkohlučnými směsmi a jejich zkoušení.

## 2 Popis protismykových vlastností vozovek a jejich měření

### 2.1 Úvod

Během posledního století došlo k velkému nárůstu dopravy. Téměř každá rodina vlastní alespoň jeden automobil. Stále víc se rozrůstá silniční síť a tím rostou i požadavky na bezpečnost a kvalitu vozovek. Rapidně se zvýšila nehodovost na silnicích. Většinou jsou tyto chyby právem připisovány řidiči, ale v některých případech má na nehodách výrazný podíl narušený povrch vozovky, která se na první pohled jeví v pořádku. Tyto nehody jsou taky mnohdy ovlivněny spoustou vedlejších faktorů, jako je například technický stav vozidla, klimatické podmínky, apod. Je dokázáno, že během deštivého období vzrůstá procento nehodovosti. Je to způsobeno tím, že vozovka nemá dostatečnou drsnost, ale i tím, že si řidiči nedávají pozor na stav svých pneumatik a nepřizpůsobí svoji jízdu nepříznivému počasí. Většinou vzrůstá tato nehodovost během podzimu a zimy, naopak během jarních a letních dnů klesá. Drsnost je také ovlivněna teplotou, snižuje se, když teplota roste. Všeobecně je známo, že povrch vozovky má určitou drsnost (texturu), pomocí které usnadňuje tření mezi pneumatikami a povrchem vozovky. Zvýšením drsnosti pomůžeme k lepším vlastnostem vozovky, konkrétně odolnosti proti smyku, ale někdy může dojít k nepříjemnostem, co se týče nepohodlí cestujících ve vozidlech a obyvatelů, žijících poblíž vozovky, neboť se zvýší hluk, vibrace apod. Tuto daň jsme ale ochotni přijmout, z důvodů snížení nehodovosti na pozemních komunikacích.

Problematikou protismykových vlastností vozovek se zabývá norma ČSN 73 6177 *Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek*.

### 2.2 Základní definice

(část těchto definicí jsou citací normy ČSN 73 6177)

#### Tření

Tření je fyzikální jev, který vzniká při pohybu tělesa v těsném kontaktu s jiným tělesem. V našem případě se jedná o povrch pneumatik, které jsou v těsném kontaktu s povrchem vozovky. Při tomto jevu vzniká síla (třecí síla), která vždy působí proti směru pohybu. Podle normy ČSN 73 6177 je tření definováno jako odolnost proti relativnímu

pohybu mezi dvěma tělesy, které jsou ve společném kontaktu. U dynamických metod se jedná o pohyb mezi povrchem vozovky a pneumatikou měřicího kola, na kterou působí svislá síla. Brzděno je na předepsaný poměr skluzu nebo odkloněno od podélné osy. Vyvozená třecí síla působí na kontaktní ploše podélně nebo bočně. Třecí sílu specifikujeme pomocí součinitele tření zjištěného dynamickým měřicím zařízením. Součinitel tření může být podélný nebo boční.

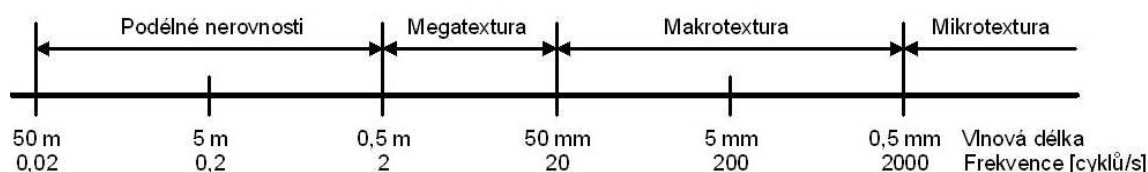
### **Protismykové vlastnosti**

Je to schopnost povrchu vozovky, zatíženého dopravou, zajišťovat prostřednictvím tření spolupůsobení mezi pohybující se pneumatikou a povrchem vozovky. Tyto vlastnosti můžeme posuzovat na základě zjištění součinitele tření. Protismykové vlastnosti jsou jedním z nejdůležitějších parametrů k hodnocení stavu vozovky, protože:

1. Jestliže nebude mít povrch dostatečnou drsnost, bude se zvyšovat nehodovost v důsledku smyku.
2. Stavební firmy se musí postarat o to, aby zbudovali dostatečně bezpečnou vozovku.
3. Výsledky z protismykových zkoušek slouží k vyhodnocování různých druhů materiálů a stavebních postupů.

### **Textura povrchu vozovky**

Odolnost vozovky proti smyku závisí na její textuře. Textura povrchu vozovky se definuje jako morfologické uspořádání částic materiálu vyjadřující povrch vozovky daný jeho mikrotexturou a makrotexturou. Tato textura je definována odchylkou povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu a vlnovou délkou. Tyto veličiny mezi sebou spolupracují, proto se zavedlo názvosloví založené na vlnové délce. Část členění pod názvem makrotextura a mikrotextura povrchu tvoří protismykové vlastnosti PVV. Druhá část členění pod názvy megatextura a podélné nerovnosti tvoří tzv. nerovnosti.

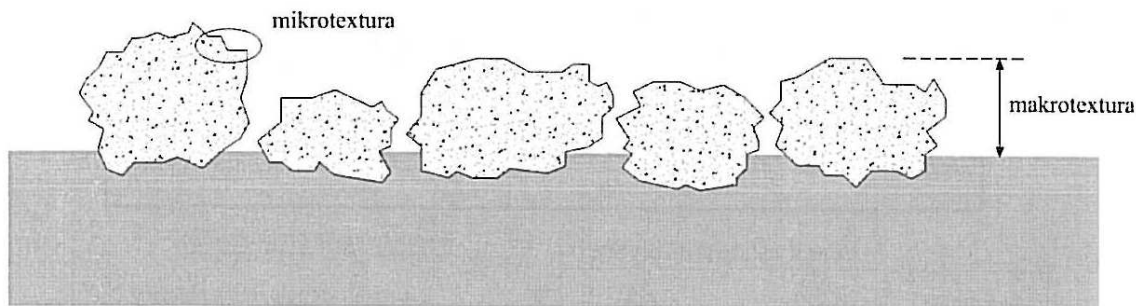


### **Mikrotextura**

Obecně, mikrotextura souvisí s malými rozsahy (styk mezi pneumatikou a povrchem vozovky) a většinou se obsahuje hrubé kamenivo. Jedná se o odchylku povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry menšími než 0,5 mm odpovídajícími vlnovým délkám textury v třetinooktávových pásmech se střední vlnovou délkou do 0,5 mm. Je charakterizována velikostí a tvarem výstupků jednotlivých zrn kameniva. Mikrotexturu povrchu vozovky zjišťujeme pomocí kyvadla (Pendulum Test Value – PTV). Tuto metodu pečlivě popisuje norma ČSN EN 13036-4 „Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem“. Když budeme porovnávat hodnoty PTV, získané pomocí této normy, s hodnotami uvedenými v příloze A normy ČSN 73 6177, získaným hodnotám PTV přiřadíme klasifikační stupeň 1 – 5. Je však nutné zde připomenout, že hodnoty PTV jsou závazné jen u pozemních komunikací s povolenou rychlostí 50 km/h a nižší. S tím že pokud měříme touto metodou PTV musíme změřit i hodnoty makrotextury (MTD nebo MPD). Pokud nám v závěru vyjdou klasifikační stupně nižší než 3, musíme provést posouzení pomocí dynamických měřících zařízení.

### **Makrotextura**

Makrotextura souvisí s velkými rozsahy a s ní souvisejícím tvarem, velikostí, šířkou mezer. Umožňuje rychlý odtok vody z vozovky. S lepším odvodněním souvisí i lepší vlastnosti mezi pneumatikou a povrchem vozovky, dojde ke snížení nebezpečí aquaplaningu. Je to odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 0,5 mm až 50 mm odpovídající vlnové délce v třetinooktávových pásmech s průměrnou vlnovou délkou od 0,5 mm do 50 mm. Makrotexturu tvoří hrubé a jemné frakce kameniva nebo povrchová úprava cementobetonového povrchu.



Makrotexturu měříme pomocí dvou metod:

- Metoda zjišťování střední hloubky textury povrchu vozovky odměrnou metodou (MTD) podle ČSN EN 13036-1 „Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 1: Měření hloubky makrotextury povrchu vozovky odměrnou metodou.
- Metoda zjišťování střední hloubky profilu povrchu vozovky (MPD) podle ČSN EN ISO 13473-1, 2, 3 „Popis textury vozovky pomocí profilů – Část 1: Určování průměrné hloubky profilu“

Metoda zjišťování textury pomocí MTD je pouze hodnota orientační, závislá na zkušenostech provádějícího zkoušku a na výběru místa. Metoda MPD je velmi přesná. Vypočítá se z podrobného kontinuálně měřeného podélného profilu pomocí laserových snímačů. Výsledné vyhodnocení se provádí podobně jako u měření PTV, avšak nelze z nich vyhodnotit přesné hodnoty protismykových vlastností povrchu (PVV).

### **Měřicí rychlost**

Je to rychlost, kterou jede měřicí zařízení po povrchu zkoušeného úseku vozovky.

### **Tolerance rychlosti**

Jedná se povolenou odchylku od měřicí rychlosti.

### **Měřená stopa**

Je to část povrchu odpovídající zpravidla pravé a levé jízdní stopě, kde dochází ke koncentraci pojezdů většiny vozidel.

### **Rychlost skluzu**

Jedná se o relativní rychlost mezi pneumatikou měřicího kola a pojížděným povrchem zkoušené vozovky na kontaktní ploše. Protože je měřicí kolo brzděno, je jeho obvodová rychlost menší než je měřicí rychlost.



### **Poměr skluzu**

Je podíl rychlosti skluzu a měřicí rychlosti, který se vypočítá z údajů snímačů rychlosti umístěných na měřicím vozidle. Vyjadřuje se v procentech a může se pohybovat od 0% do 100%. Hodnota 0% znamená nebrzděné měřicí kolo, hodnota 100% znamená zcela zablokované měřicí kolo.

### **Národní referenční zařízení**

Jedná se o dynamické zařízení na měření součinitele podélného tření povrchu vozovky, které splňuje požadavky uvedené v příloze normy.

### **Součinitel tření zajištěný kyvadlem (PTV – Pendulum Test Value)**

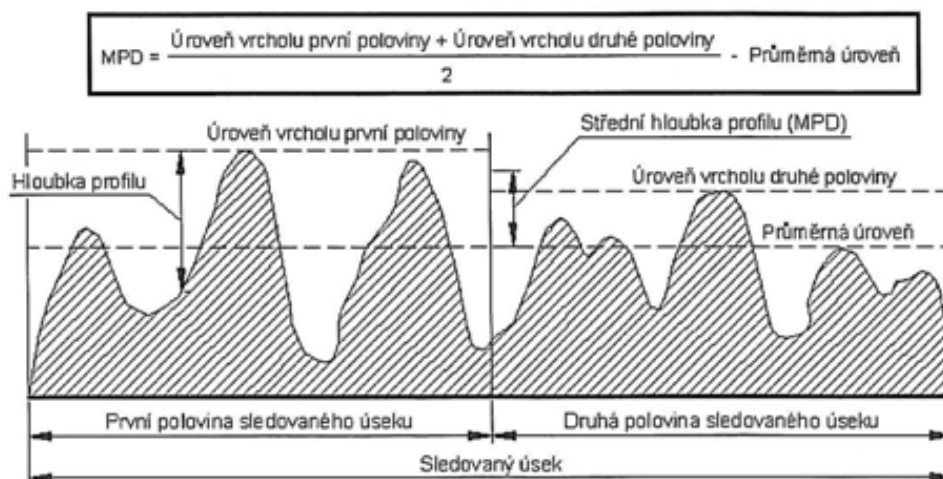
Tato hodnota vyjadřuje ztrátu kinetické energie při tření standardní pryžové patky kyvadla po zkoušeném povrchu vozovky. Takto získaná hodnota součinitele tření, zjištěná pomocí kyvadla, vyjadřuje kvalitu mikrotextury měřeného povrchu.

### **Střední hloubka textury povrchu vozovky zjištěná odměrnou metodou (MTD – Mean Texture Depth)**

Vyjadřuje střední hloubku textury povrchu vozovky určenou vztahem mezi daným objemem skleněných kuliček a plochou, na které kuličky vyplní beze zbytku prohlubně na povrchu vozovky. Hodnota MTD vyjadřuje velikost makrotextury měřeného povrchu.

### **Střední hloubka profilu vozovky (MPD – Mean Profile Depth)**

Vypočítá se z podrobného podélného profilu makrotextury snímaného pomocí laserových systémů na filtrované délce 0,5 mm do 50 mm.

**Obr. 3:** Princip výpočtu střední hloubky profilu povrchu vozovky (MPD)

## 2.3 Drsnost povrchu

Pod pojmem drsnost si představíme požadavek na smykové tření (odpor) při relativním pohybu povrchu pneumatiky k povrchu vozovky při brzdění, zrychlování a změně směru jízdy vozidla. Čím více máme oba povrchy bohatě tvarované a pevné, tím máme větší a trvanlivější tření mezi oběma povrchy. Drsnost by se dala přirovnat k brusným nástrojům, jako jsou třeba pilníky a brusné papíry nebo kotouče. Ztráta tření (tedy drsnosti) nastane, když dojde k uzavření povrchu do hladké plochy bez vystupujících zrn kameniva. Tady mluvíme o ztrátě makrotextury povrchu. Dochází k ní při vysokých rychlostech. Pokud dojde k vyhlazení zrn kameniva vlivem dotyku s pneumatikami, mluvíme o ztrátě mikrotextury. Ke ztrátě mikrotextury dochází při nízkých rychlostech, obvykle do 60 km/hod. Ztrátu mikrotextury lze ovlivnit tím, že přidáme do směsi drobné kamenivo, popřípadě kamenivo s vysokou hodnotou ohladitelnosti (PSV). Pro odolnost proti ohlazování kameniva je vhodné použít kamenivo s minerály. Minerály způsobují, že mikrotextura kameniva se vždy zregeneruje. Oba tyto jevy vedou ke ztrátě tření. Můžeme to zjistit pomocí měření podélného nebo bočního koeficientu tření. Ztráta makrotextury je spojena s vystoupením pojiva na povrch vozovky u nátěrů a také s vystoupením asfaltového tmelu.

Drsnost je vlastnost vozovek, kterou můžeme ovlivnit návrhem asfaltové směsi, popřípadě technologií pokládky. Drsnost ovlivňují různé faktory jako třeba namáhání dopravou, klimatické vlivy, vlivy prostředí a místní poměry a okolnosti.

## 2.4 Měřicí přístroje

Rutinní sledování drsnosti vozovek je důležitou součástí toho, že povrch vozovek je v bezpečném a provozuschopném stavu. K tomuto byly vynalezeny různé měřicí a snímací metody, které pracují na stejném principu. Princip měření spočívá v tom, že po komunikaci vedeme měřicí kolo, čímž vzniká skluz mezi pneumatikou měřicího kola a vozovkou. Měřicí kolo vlhčíme vodou a téměř u všech měřicích zařízení se tvoří vodní film o velikosti 0,5 mm. Evropa v současné době využívá více jak 12 různých typů zařízení sloužících k měření protismykových vlastností. Tyto zařízení využívají různé principy k zjišťování výsledků. Někdy se liší pouze v malých detailech jako je například typ použité pneumatiky, velikost měřicího kola, velikost přitlačné síly a velikost skluzu měřicího kola. Tyto detaily ovlivní pouze jejich relativní měření. Samotné měření představuje řadu omezení pro komunikaci, aby byly výsledky co nejpřesnější a byl zajištěn bezpečný a plynulý provoz. Různé rychlosti ovlivňují také jejich výsledky. Stejně jako podmínky, při kterých probíhá měření. Měli bychom brát na vědomí fakt, že většina důležitých testů probíhá na mokré (vlhké) vozovce. Některé laboratoře provádí testy i na suchých vozovkách, avšak těmto výsledkům se nepřikládá taková váha. Dalo by se předpokládat, že v suchých podmínkách má vozovka vysokou schopnost odolávat smyku.

### **Kyvadlo (Pendulum Tester)**

Je mezinárodně uznávaná testovací metoda k určování protismykových vlastností povrchů na místě zkoušky. Byla vyvinuta pro výzkum v terénu, tam kde mohou řidiči dostat smyk, popřípadě chodci uklouznout. Zařízení dává přímou míru tření mezi pneumatikou a smykovou plochou vozovky. Poskytuje rychlé výsledky a s tím i související rychlé opatření ke zvýšení protismykových vlastností. Musíme však zohlednit fakt, že tato metoda je určena pro malé povrchy ( $0,01 \text{ m}^2$ ) a také, že nemůžeme porovnávat výsledky, získané touto metodou s výsledky získanými pomocí měřicích zařízení, které měří povrchové vlastnosti plynule po celé délce vozovky. Aby se zajistilo, že přístroje fungují tak, jak mají, měli by se posílat na pravidelné kalibrace do předem daných výzkumných institucí. Během měření musíme dbát zvýšené bezpečnosti.

Obr. 4: Kyvadlo



**Metoda SCRIM (SIDEWAYFORCE COEFFICIENT ROUTINE INVESTIGATION MACHINE)**

Jedná se o měřicí metodu, jejichž jakési limity pro výsledky jsou dány smluvní hodnotou v závislosti na rychlosti měření za určitých smluvních podmínek. Měříme v pravém jízdním pruhu, v předem stanovené konstantní vzdálenosti od okraje (+ 0,15m), na 100 m délce úseku při teplotě povrchu vozovky 20 °C, na kterém se provede 5 měření za sebou po 20 m. Na měřeních se provede korekce teploty a rychlosti. Výsledek se stanoví ze střední hodnoty z těchto naměřených úseků. Je-li vozovka mokrá a prší, je měření neplatné. Jsou stanoveny určité smluvní podmínky. Pokud je mezní hodnota pro drsnost větší než 0,03, jedná se o závadu, tudíž může zhotovitel zkoušku pomocí měřicí metody SCRIM zopakovat. Pokud nejsou dosaženy mezní hodnoty o více jak 0,06 nebo nejsou-li splněny požadavky, musí se zjistit příčina závad a udělat určitá opatření.

Obr. 7: Vozidlo SCRIM



## **GRIPTESTER**

Toto měřicí zařízení bylo vynalezeno pro testování silnic, dálnic, letištních ploch a pro chodníky. Působí na trhu už od roku 1987. Byl vyvinut ve spolupráci s Cranfield University a jeho přijetí na trh bylo docíleno za pomoci Velké Británie (mezinárodní experiment PIARC). Griptester (jedná se o malý přívěs) slouží k pohodlnému a rychlému použití na plochách, kde potřebujeme rychle zjistit protismykové vlastnosti a tak naplánovat budoucí opravy. K jeho dalším přednostem patří kompaktnost, lehkost a snadná ovladatelnost. Měří zatížení nepřetržitě a to i při vyšších rychlostech (až 130 km/hod). Můžeme ho snadno kalibrovat, doba kalibrace nezabere více jak 10 min. Má velmi malou spotřebu vody než ostatní měřicí zařízení.

**Obr. 8:** Měřicí zařízení GRIPTESTER



## **TRT - Tatra Runway Tester**

Mezi první měřicí přístroje v Československu řadíme dynamometrický přívěs VÚD-2 pracující na principu zablokovaného měřicího kola. Tento princip je založen na modelech mechanismů, které simulují brzdění vozidla. Výsledky se zjišťují pomocí poměru mezi vertikální silou a vyvolanou horizontální silou, přičemž měříme za podmínek plně zablokovaného kola nebo je daný předepsaný prokluz kola. S dalším vývojem měříme pomocí TRT (Tatra Runway Tester). Toto zařízení bylo původně umístěno do vozidla Tatra 613, později bylo přeneseno do vozidla Ford Tranzit. Toto zařízení zaznamenává součinitel podélného tření, velikost poměru skluzu můžeme libovolně nastavit od 0 do 99 %. Avšak nepoužívanější je poměr skluzu 25 %. Tloušťka vodního filmu je v rozmezí od 0,25 mm do 0,5 mm. Zařízení má v sobě zabudovanou nádrž na vodu s dávkovacím zařízením zabezpečující definovanou dávku 0,05 l vody na každý jeden metr ujeté dráhy nezávisle na velikosti dopředné rychlosti. Tato dávka odpovídá tloušťce vodního filmu 0,5 mm. Velikost svislé síly působící na měřicí kolo je 1000 N.

**Obr. 9:** Vozidlo Tatra Runway Tester

### **Projekt HERMES**

V Českém překladu by se toto dalo popsat slovy: „Harmonizace evropských zařízení pro měření ohrusnosti povrchů silnic.“. Jedná se o projekt a jeden ze základních programů, který byl uveden v rámci programu FEHRL ( fórum evropských národních silničních výzkumných laboratoří – „*Forum of European National Highway Research Laboratories*“). Začátky FEHRLu spadají do roku 1989, kdy byly položeny jeho základy ve Velké Británii. Jedná se o mezinárodní asociaci, jejichž administrativní centrum se nachází v Bruselu. Sdružuje kolem třiceti národních dopravních výzkumných ústavů a technických center. Cílem tohoto programu je výzkum v oblasti dopravní infrastruktury. FEHRL popisuje tyto výzkumné metody a snaží se vytvořit co nejlepší prostředí pro spolupráci mezi jednotlivými členskými ústavu. Hlavními prioritami FEHRLu jsou:

- Tvorba a údržba efektivní a bezpečné silniční sítě v EU
- Příspěvky EU a národním vládám pro rozvoj infrastruktury
- Zvýšení konkurenceschopnosti evropského a silničního stavitelství
- Zvýšení energické účinnosti a zlepšení životního prostředí

FEHRL poskytuje rady v oblastech týkající se dopravních staveb (silnice, mosty, konstrukční materiály, dopady na životní prostředí, správa a údržba, bezpečnost, telematika). Roku 1993 byl vydán FEHRLem první evropský výzkumný program SERRP („*Strategic European Road Research Programme*“). Základními projekty FEHRLu jsou:

- BitVal (*„Bitumen Test Validation Project“*)
- HERMES (*„Harmonization of European Routine and research Measuring Equipment for Skid Resistance“*)
- SHRP-Europe (*„FEHRL Evaluation of SHRP Asphalt Products for Europe“*)
- Apod.

Hlavním cílem projektu HERMES je sjednotit všechny výsledky měření protismykových vlastností pomocí dynamických přístrojů, které se používají v Evropě.



Tab. 1: Jedny z dynamických zařízení, které se zúčastnily projektu HERMES

Název	Organizace (stát)	Přednosti	Fotografie
<i>DWW (Trailer)</i>	DWW Rijkswaterstaat (NL)	86% pevnosti v kluzu, tlak pneumatik 200 kPa, tloušťka vodního filmu 0,5 mm	
<i>ADHERA</i>	CETE de Lyon (FR)	„uzamčené kolo“, tlak pneumatik 180 kPa, tloušťka vodního filmu 1,0 mm	
<i>SCRIM</i>	MET (BE)	tlak pneumatik 350 kPa, tloušťka vodního filmu 0,5 mm	
<i>GripTester</i>	MET (BE)	tlak pneumatik 138 kPa, tloušťka vodního filmu 0,5 mm	
<i>ROAR</i>	DRI (DK)	tloušťka vodního filmu 0,5 mm	
<i>ROAR</i>	DWW Rijkswaterstaat (NL)	86% pevnosti v kluzu, tloušťka vodního filmu 0,5 mm	
<i>Odoliograph</i>	BRRC (BE)	tloušťka vodního filmu 0,5 mm	



### 3 Vyhodnocení drsnosti na podrcených úpravách

#### 3.1 Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky pomocí kyvadla (PTV)

Touto metodou zjišťujeme velikost ztráty mikrotextury. Měření povrchu vozovky pomocí kyvadla se provádí podle normy ČSN EN 13036-4. V ní se úzce popisuje postup pro provádění měření protismykových vlastností pomocí kyvadla. Při provádění měření se musí dbát zvýšené opatrnosti, protože měření provádíme většinou za plného provozu. Podstatou zkoušky je zjištění kinetické energie pohybem třecí patky, která je vyrobena ze standardní pryže, po zkoušeném povrchu. Pohyb třecí patky zajistíme pomocí uvolnění kyvadla z vodorovné polohy. Velikost kinetické energie zjistíme na kalibrované stupnici kyvadla. Potom zhodnotíme protismykové vlastnosti pomocí klasifikační stupnice od 1 - 5.

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
PTV	$\geq 70$	69 až 60	59 až 50	49 až 40	$\leq 0,39$

##### 3.1.1 Měření pomocí kyvadla

- **Podstata zkoušky** – Na konci ramene kyvadla máme umístěnou třecí patku ze standardní pryže. Kyvadlo přitlačujeme ke zkoušenému povrchu pomocí pružiny. Po uvolnění ramene kyvadla zjišťujeme ztrátu kinetické energie, vzniklou mezi třecí patkou a zkoušeným povrchem. Tato ztráta se projeví na kalibrované stupnici kyvadla.
- **Zkušební zařízení**
  - Kyvadlo
  - Rameno kyvadla včetně třecí patky o hmotnosti  $(1,5 \pm 0,03)$  kg, těžiště musí ležet  $(410 \pm 5)$  mm od osy zavěšení
  - Široká třecí patka z pryže o šířce  $(76,2 \pm 0,5)$  mm, délce  $(25,4 \pm 1,0)$  mm a tloušťce  $(6,35 \pm 0,5)$  mm nalepená na hliníkové části. Hmotnost třecí patky je  $(32 \pm 5)$  g.
  - Úzká třecí patka z pryže o šířce  $(31,75 \pm 0,5)$  mm, délce  $(25,4 \pm 1,0)$  mm a tloušťce  $(6,35 \pm 0,5)$  mm nalepená na hliníkové části. Celková hmotnost je  $(20 \pm 5)$  g.
  - Čistá voda
  - Teploměr s přesností 1 °C

- Vodováha o délce 1 m a s přesností 1 mm
- Pevný ruční kartáč
- Přenosný anemometr s přesností 2 m/s (volitelné)
- **Postup** – Nejdříve povrch pořádně očistíme kartáčem a omyjeme vodou. Na povrchu nesmí být led. Přístroj postavíme na očištěný povrch tak, aby kyvadlo prokmitlo ve směru jízdy. Potom změříme teplotu mokrého povrchu a třecí patky s přesností na jeden stupeň. Pokud je teplota povrchu a třecí patky mimo rozmezí 1 °C až 40 °C nelze zkoušku provést. Pokud je možné použít širokou patku, měříme přímo se čtením na C stupnici. Kde nelze číst na C stupnici (není rovinatý povrch) použijeme úzkou třecí patku s měřením na F stupnici.
- **Vzorce** - Přibližnou hodnotu PTV získáme pomocí následujícího výpočtu.

$$PVT = \frac{\sum v_1 + v_2 + \dots + v_5}{5}$$

Kde:  $v_1$  až  $v_5$  jsou hodnoty každého kmitu

### 3.2 Zjišťování součinitele tření povrchu vozovky odměrnou metodou (MTD)

Oproti předcházející metodě, touto metodou stanovujeme velikost hloubky makrotextury. Povrch vozovky hodnotíme pomocí normy ČSN EN 13036-1. Opět zde máme klasifikační stupně hodnocení od 1 – 5.

Klasifikační stupeň	1	2	3	4	5
MTD	$\geq 0,75$	0,74 až 0,60	0,59 až 0,50	0,49 až 0,38	$\leq 0,37$

Princip spočívá v tom, že rozprostřeme na zkoušený povrch materiál, pro nás známý objem. Potom změříme plochu takto rozprostřeného materiálu. Tímto postupem zjistíme pouze průměrnou hodnotu makrotextury vozovky.

#### 3.2.1 Měření pomocí odměrné metody (kuličky)

Pro měření makrotextury pomocí odměrné metody používáme skleněné kuličky neboli balotinu. Balotina musí mít zrnitost takovou, ve které minimálně 90 % z hmotnosti propadne sítím 0,25 mm a zbytek hmotnosti se zastaví na síti 0,18 mm. Na daném úseku se vyberou nejméně 4 místa, které jsou od sebe vzdálená náhodně. Přičemž se uvádí v národní poznámce,

k této normě, že v České Republice se na daném úseku zvolí 3 zkušební místa, která obsahují povrchy s nejtěžšími provozními podmínkami, např. před křižovatkou. Zkoušené místo musí být suché, čisté a nesmí se zde vyskytovat trhliny nebo spáry. Proto se povrch pečlivě očistí pomocí štětinového kartáče. Následně kolem zkoušeného místa umístíme zástěnu proti větru a rozprostřeme balotinu na zkoušený povrch. Pomocí stěrky materiál pečlivě rozprostíráme do kruhového tvaru. Změříme minimálně 4 hodnoty průměru kruhových ploch vyplněných materiálem.

### 3.3 Výsledky měření

Měření probíhalo na ulici Vídeňská v Brně. Pokládku povrchu prováděla firma Alpine. Měřili jsme na dvou površích, jeden byl s podrcením  $1,7 \text{ kg/m}^2$ , druhý s podrcením  $2,0 \text{ kg/m}^2$ . Předem musím zdůraznit fakt, že měření probíhalo za částečného provozu, tudíž výsledky mohou být značně zkreslené.

#### 3.3.1 Výsledky pomocí kyvadla

V následující tabulce jsou zaznamenány výsledky měření pomocí kyvadla. Kyvadlo bylo na vozovce umístěno v protisměru. Celkem bylo provedeno 5 měření. Během měření nedošlo k žádnému závažnému problému.

Číslo	Podrcení	
	1,7	2
teplota	32	31,5
1	70	71
2	71	71
3	68	70
4	68	71
5	68	71

Výpočet pro podrcení  $2,0 \text{ kg/m}^2$ :

$$PTV = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5}, \quad PTV = 70,8 = 71$$

$$PTV_{\text{corr}} = 71 + \text{korekce} = 71 + 2 = 73$$

Korekce:

Naměřená teplota (°C)	Korekce
40	3
31,5	2,15
30	2

Výpočet pro podrcení 1,7 kg/m<sup>2</sup>:

$$PTV = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{5}, \underline{PTV = 69}$$

$$PTV_{\text{corr}} = 69 + \text{korekce} = 69 + 2 = 71$$

Korekce:

Naměřená teplota (°C)	Korekce
40	3
32	2,2
30	2

### 3.3.2 Výsledky pomocí odměrné metody

Na úseku, kde jsme nejdříve provedli měření mikrotextury, byly zjištěny výsledky, zaznamenané níže, ztráty makrotextury. Měření bylo provedeno 8-krát vždy s daným podrcením.

Naměřené průměry s podrcením 1,7 kg/m<sup>2</sup>:

160, 168	190, 160	160, 170	160, 155
158, 180	175, 160	155, 160	145, 155

Naměřené průměry s podrcením 2,0 kg/m<sup>2</sup>:

185, 190	170, 178	203, 185	200, 197
175, 180	188, 196	186, 192	185, 195

Hodnota MTD pro asfalty s podrcením 1,7 kg/m<sup>2</sup>:

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2}, \text{ kde}$$

V ... objem materiálu v mm<sup>3</sup>, V = 25000 mm<sup>3</sup>

D ... aritmetický průměr změřených průměrů kruhové plochy vyplněné materiálem v mm, D = 163,188 mm

$$\underline{\underline{MTD = 1,195 \text{ mm}}}$$

Hodnota MTD pro asfalty s podrcením 2,0 kg/m<sup>2</sup>:

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2}, \text{ kde}$$

V ... objem materiálu v mm<sup>3</sup>, V = 25000 mm<sup>3</sup>

D ... aritmetický průměr změřených průměrů kruhové plochy vyplněné materiálem v mm, D = 187,813 mm

$$\underline{\underline{MTD = 0,902 \text{ mm}}}$$

### 3.4 Závěr

Zkušební měření probíhalo na opravovaném úseku ulice Vídeňské za jasného dne. Celkovou opravu komunikace prováděla firma Alpine. Podmínky měření byly částečně ovlivněny provozem na komunikaci, tudíž jsme museli provádět měření za částečného provozu. Kyvadlo bylo umístěno na komunikaci proti směru jízdy. Dle normy má být kyvadlo umístěno na vozovce, což v našem případě bohužel nebylo možné. Tudíž výsledky mohou být částečně zkreslené.

**Obr. 10:** Pokládka asfaltového koberec mastixového. Vybrané úseky s podrcením  $1,7 \text{ kg/m}^2$  a  $2,0 \text{ kg/m}^2$



Výsledky získané pomocí kyvadla řadíme do klasifikačního stupně 2 s podrcením  $1,7 \text{ kg/m}^2$  a když se jedná o podrcení  $2,0 \text{ kg/m}^2$  řadíme asfaltovou směs do klasifikačního stupně 1. Z toho vyplývá, že úsek kde jsme použili asfaltový koberec mastixový s podrcením  $2,0 \text{ kg/m}^2$  má lepší protismykové vlastnosti.

**Obr. 11:** Povrch komunikace bez podrcení a s podrcením  $1,7 \text{ kg/m}^2$



Výsledky pomocí odměrné metody se zase tolik neliší od předchozího způsobu zjišťování protismykových vlastností. Oba dva povrchy, jak povrch s podrcením  $1,7 \text{ kg/m}^2$  tak i povrch s podrcením  $2,0 \text{ kg/m}^2$ , řadíme do první klasifikační skupiny. Jedná se tedy o povrchy s nejlepšími protismykovými vlastnostmi.

Kdybychom chtěli nejkvalitnější komunikaci s co nejlepšími protismykovými vlastnostmi, zvolíme si povrch s podrcením  $2,0 \text{ kg/m}^2$ . Musíme vzít v úvahu taky fakt, že daná rychlostní komunikace je projektována na větší rychlosti než předepisuje norma pro stanovení protismykových vlastností zkoušených pouze pomocí kyvadla a odměrné metody. Pro získání kvalitnějších výsledků je nutné provést měření pomocí dynamického měřícího vozidla. V našem případě bych nejspíše volila griptester.

## 4 Nízkohlučné povrchové vrstvy a technologie

Životní prostředí je negativně ovlivňováno hlukem a to zejména v okolí velkých měst. Hluk definujeme jako specifickou formu zvuku, kterou ze subjektivního hlediska vnímáme jako nepříjemný, rušivý, nežádoucí až škodlivý. Vnímání hluku může být ovlivněno mnoha faktory jako třeba doba trvání hluku, věk a zdravotní stav. Základním určujícím účinkem hluku je jeho intenzita. Je také vědecky dokázáno, že nadměrné působení hluku na lidský organismus může způsobovat deprese, stres, únavu, rozmrzelost, neochotu, zhoršení paměti, ztrátu pozornosti a celkové snížení výkonnosti. Pokud jsme takovému hluku vystaveni dlouhodobě, hrozí hypertenze (vysoký krevní tlak), poškození srdce (infarkt), snížení imunity organismu, chronická únava a nespavost. Neměli bychom zapomínat na to, že v době spánku také reagujeme na sluchové podněty a jsme – li vystaveni hluku v této době, odrazí se to v naší kvalitě spánku.

Od 18. století je více jak 90 % procent hluku způsobeno nadměrnou lidskou činností. Z toho 80 % tvoří hluk od dopravy, tzv. dopravní hluk. Dopravní hluk se skládá z automobilového, kolejového a hluku z leteckého provozu. Hladiny hluku pro jednotlivé dopravní prostředky závisí na několika faktorech, jako je třeba mechanický výkon motoru, rychlost vozidla, technický stav vozidla, kvalita vozovky, okolní výstavba nebo povětrnostní podmínky. Pro silniční stavitelství se zaměříme na automobilový hluk, který rozdělujeme na vnitřní a vnější hluk. Vnitřní hluk je uvnitř vozidla a obtěžuje jen řidiče a spolucestující. Je způsobován hnacím motorem, popřípadě jízdou vozidla. Vnější hluk obtěžuje obyvatele v okolí pozemních komunikací. Tento hluk má přísná kritéria (hygienické předpisy, normové podklady), podle kterých by se měly navrhovat pozemní komunikace. Tyto kritéria stanovují maximálně možné přípustné hladiny vnějšího hluku různých dopravních prostředků nebo hluk přípustný vně budov. Limity, nastavené podle zákona č. 258/2000 sb. o ochraně veřejného zdraví, stanovují pro venkovní hluk z hlavních silnic 60 dB ve dne a 50 dB v noci. Mezní hodnota hluku z dopravy by se měla pohybovat přibližně kolem 55 dB ve dne a 45 dB v noci. Podle nového návrhu novely nařízení vlády č. 148/2006 by se měly zvýšit limity hluku o 5dB ve dne i v noci, v některých případech až o 10dB. Veškeré tyto limity platí pouze pro venkovní hluk.

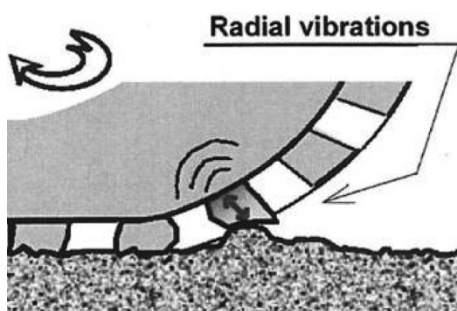


Mezi největší zdroje automobilového hluku řadíme především pneumatiky, motor automobilu, obtékání vzduchu kolem vozidla, brzdy a taky karosérii. Na šíření šumu (hluku) má také vliv rychlost vozidel ( $< 40$  až  $50$  km/hod hluk motoru,  $> 40$  až  $50$  km/hod hluk od styku pneumatika / vozovka).

Primární zdroje automobilového hluku:

- **Náraz dezénového bloku** – Vzor na běhounu pneumatiky nazýváme dezén. Během jízdy vozidla po vozovce dochází k nárazu dezénových bloků o povrch vozovky v tzv. kontaktní zóně. Tento náraz si můžeme představit jako úder gumové paličky o povrch. Tím vznikne radiální vibrace pneumatiky. Pokud budeme považovat oba materiály (dezénový blok, povrch vozovky) za pružné, výsledná vzniklá energie se sníží. Náhodné uspořádání zrn kameniva ve struktuře povrchu může změnit charakter zvuku popřípadě ho i snížit.

Obr. 12: Radiální vibrace



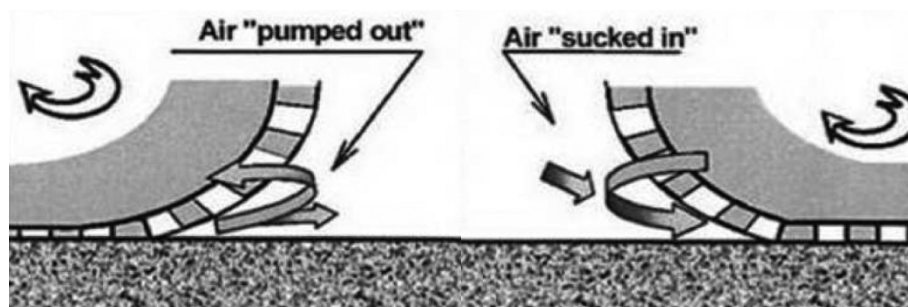
(Radiální vibrace – veškeré nerovnosti povrchu vozovky, především ve vlnových délkách  $30 - 100$  mm, vyvolávají u pneumatiky tzv. radiální kmitání. Intenzita hluku je tím větší, čím drsnější je povrch vozovky. Největší amplitudy hluku jsou při nejnižších frekvencích.)

Snížit hladinu hluku můžeme pomocí pružného povrchu s malou velikostí kameniva.

- **Air pumping – sání vzduchu** – V kontaktní zóně najdeme drážky mezi dezénovými bloky, které jsou postupně stlačovány a deformovány. Z těchto drážek se pak postupně vytlačuje vzduch pohybem pneumatiky a zvyšováním tlaku na sousedící dezénové bloky. Při dalším otáčení pneumatiky dochází k uvolňování napětí a tím i k nasávání vzduchu na zadní straně kontaktní zóny. Po opuštění kontaktní zóny se prvky běhounu

opět vrátí do původní velikosti. Rychlý pohyb bloku běhounu tzv. snap out způsobuje dále radiální a tangenciální vibrace pneumatiky. Stlačováním vzduchu a následným nasáváním je vyzařována energie. Vznikající hluk se zvětšuje v závislosti na míře, kterou textura povrchu vozovky utěsňuje prostor kolem drážek. Tato složka hluku dosahuje největších amplitud při vysokých frekvencích (1000 až 2000 Hz) a je závislá na rychlosti vozidla.

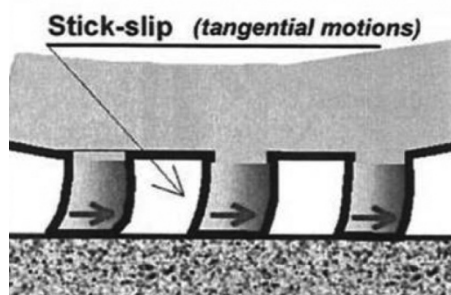
Obr. 13: Air pumping



Snížit hladinu hluku můžeme pomocí krytu s otevřenou strukturou.

- **Tření mezi pneumatikou a povrchem vozovky** – V kontaktní zóně postupem času dojde k přizpůsobení obou povrchů. Poloměr zakřivení povrchu pneumatiky se musí vyrovnat a povrchová část pneumatiky se snaží přizpůsobit makrotextuře povrchu vozovky. Vždy dojde ke tření, tzv. hysterezní tření. Vlivem zrychlování nebo brzdění vozidla dochází k přenosu tahové síly z vlastní pneumatiky do povrchu vozovky a velikost tření se zvětšuje. Tření hysterezní a smykové většinou nastanou velmi rychle a tudíž způsobují hluk na styku pneumatika – vozovka.

Obr. 14: Tření dezénových bloků pneumatiky a povrchu vozovky



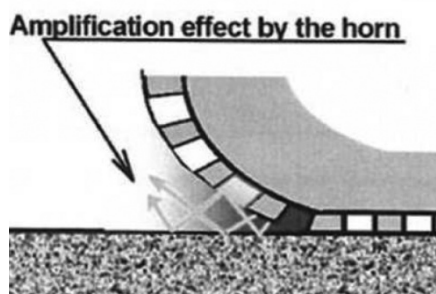
Ke snížení tření je kladen důraz na typ pneumatiky a jejich výrobce.

Sekundární zdroje automobilového hluku:

Bloky běhounů nemají vhodný tvar a ani velikost k efektivnímu vyzařování zvukové energie. Pumpování vzduchu nehraje velkou roli mezi zdroji zvukové energie. K jejich zesílení pomáhají mechanismy zesilování zvuku.

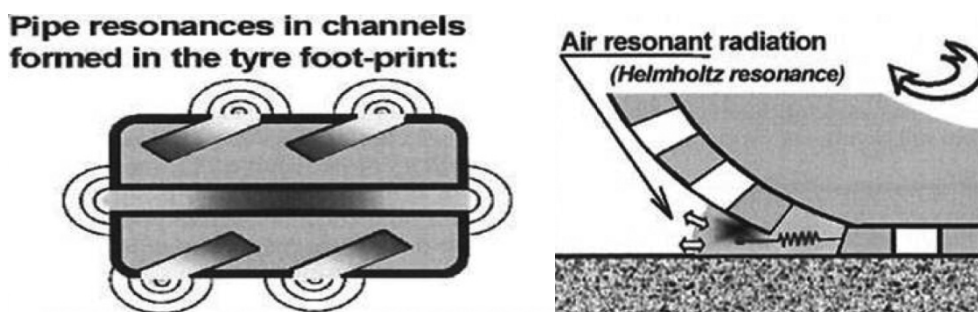
- **Mechanismus zesílení** – Profil pneumatik na rozhraní s vozovkou lze považovat z pohledu zesílení zvuku za žesťové hudební nástroje – trubka. I když tvarem se to těmto hudebním nástrojům neblíží. Zvuk produkovaný různými mechanismy (viz výše) je zesílen „trubkovitým – trychtýřovitým“ efektem.

Obr. 15: Trychtýřový efekt



- **Helmholtzovy rezonátory** – Boční drážky dezénu pneumatiky v kontaktní zóně se díky své tvarové charakteristice chovají jako akustické systémy, které zvyšují vyzařování zvuku. Můžeme je přirovnat k varhanním píšťálám a Helmholtzovým rezonátorům, které produkují zvuk jako při pískání přes hrdlo láhve.“

Obr. 16: Mechanismy zesílení zvuku



Zvuk vzniklý v oblasti nízkých frekvencí (500 – 1000 Hz) se projevuje pomocí vibrací pneumatik. Snížení hladiny hluku docílíme pomocí rovného a pružného povrchu s malou velikostí kameniva. Naopak při vysokých frekvencích (1000 – 2000 Hz) se

výrazněji projevuje air pumping efekt. Ke snížení hladiny hluku použijeme povrch s otevřenou texturou. Při snižování hluku lze využít řadu opatření zahrnující tradiční aplikace protihlukových stěn nebo využívání akustických oken. Popřípadě využívání technologií snižující hlučnost až o 5-8 dB, které nejsou ještě dosud rozšířené v České republice, ale v jiných státech Evropské Unie jsou již zcela běžné.

V současné době se kladou velké požadavky na kvalitu asfaltových směsí. Proto se vymýšlí pořád nové technologie k usnadnění provozu na komunikacích. Používají se směsi s dokonalejšími fyzikálně mechanickými vlastnostmi. Největší zkouškou pro odborníky je vyrobit směs, která by nejvíce uspokojila z hlediska spolehlivosti konstrukce vozovky. Tím se míní provozní způsobilost (podélné a příčné nerovnosti, poruchy vozovky), únosnost, trvanlivost, udržitelnost a opravitelnost vozovky.

Nejvíce diskutované téma, na které se odborníci zaměřili, je, jak nejlépe utlumit hluk od dopravy. Předem bych zdůraznila, že spoustu let se odborníci snažili snižovat hlukové emise používáním běžných úprav, jako je budování ochranných valů a clon. Tato opatření považujeme za druhotné. Staví se v bezprostřední blízkosti pozemní komunikace a vedou ke změnám v dané oblasti, jak už estetického rázu. Dalším způsobem snižování hluku je používání protihlukových oken (mluvíme o pasivní ochraně proti hluku). V tomto případě je tato ochrana účinná pouze v případě neustále zavřených oken, což není možné. Jedná se tedy jen o částečné vyřešení problému. Největší naděje se vkládají do experimentování na krytech typu SMA a PA. Mají příznivou texturu, která způsobuje dobré odvádění vody z povrchu vozovky. Pokud zajistíme dostatečnou mezerovitost směsi, dokážeme snížit hlučnost o více jak 4 dB a zajistit i dostatečnou drsnost. Musím však dodat, že všechny tyto požadavky se aplikují podle německých předpisů, takže nejsou vždy stejné ve srovnání s požadavky platnými v ČR.

Z hlediska koncepčního řešení se při možnosti eliminace hlučnosti povrchu vozovek hledá použití vhodných technologií aplikujících se na asfaltové vozovky. Hlavním sledovacím parametrem je dosažený útlum hladiny hluku, resp. útlum valivého hluku. Dalšími parametry pro danou technologii jsou např. zlepšení drenážní funkce nebo zlepšení protismykových vlastností. Oba dva tyto parametry jsou důležité pro bezpečnost provozu na pozemních komunikacích.

Některé z možných řešení pro snížení hluku:

- Zvětšení vzdálenosti vozovky od objektu, které chceme chránit
- Realizace protihlukových clon
- Omezení intenzity provozu
- Technické opatření na vozidle – snížení hlučnosti motoru apod.
- Realizace protihlukových oken
- Provedení akustické vozovky
- Vedení trasy v zářezech
- Zřizování ochranné zeleně

Technologie pro obrusné vrstvy ke snížení hluku:

Mezi technologie snižující hluk řadíme (řešení obrusných vrstev vozovek):

- Nátěrové technologie prováděné na betonové vozovky
- Asfaltový koberec mastixový (SMA)
- Akustické tenké obrusné asfaltové vrstvy (Viaphone, Rugosoft atd.)
- Düsseldorfská asfaltová směs (LOA 5D)
- Litý asfalt s drenážní strukturou (PMA) – jedná se o zvukově optimalizované lité asfalty s otevřeným povrchem.
- Protihlukové tenké asfaltové koberce včetně mikrokoberců
- Drenážní a otevřené asfaltové koberce (PA)
- Dvouvrstvý drenážní asfaltový koberec (ZWOPA)
- Drenážní asfaltový koberec na vrstvě litého asfaltu (OPA MA)
- Vymývaný beton
- Nové typy asfaltových koberců mastixových (SMA LA 8, SMA LA 5)

**Tab. 2:** Příklady vlivu konstrukce obrusné vrstvy na snížení či zvýšení hladiny hluku při rychlostech  $\geq 50$  km.h<sup>-1</sup> (dle německé Směrnice pro ochranu před hlukem ze silničního provozu RLS-90)

<b><i>Obrusná vrstva vozovky</i></b>	<b><i>Opravný faktor hladiny hluku dB</i></b>
Cementový beton	2,0
Cementový beton bez přebroušení ocelovými kartáči s hlazením v podélném směru vláčením juty	-2,0
Zdrsněný litý asfalt	2,0
Zdrsněný asfaltový beton nebo SMA s podrcením	0,0
AC zrnitosti < 0/11 a SMA zrnitosti 0/8 a 0/11 bez dodatečného podrcení	-2,0
Asfaltový koberec drenážní s mezerovitostí min. 15%-obj. zrnitosti 0/11	-4,0
Asfaltový koberec drenážní s mezerovitostí min. 20%-obj. zrnitosti 0/11	-5,0

### **Nátěrové technologie**

Nátěrové technologie byly původně vyvinuty k používání na vzletových a přistávacích drahách letišť stejně jak drenážní koberce. Zatímco drenážní koberce se používaly jako ochrana proti aquaplaningu, s nátěrovými technologiemi se zamýšlelo použití pro zlepšení protismykových vlastností. Na konci osmdesátých let se nátěrové technologie začaly používat v oblasti betonových dálnic a tady se taky uplatňují v různé míře dodnes. Tato technologie se skládá z vrstvy asfaltové emulze, speciálního modifikovaného asfaltu nebo epoxidové pryskyřice s následným podrceným kamenivem vhodné frakce. Výhodou je provádění tenké vrstvy bez předcházejícího frézování povrchu. Z protismykového hlediska lze u této technologie docílit nejlepších vlastností, co se týče akustického hlediska lze docílit omezení vlivu oscilace pneumatik a snížení airpumping efektu. Tato ochrana však nemá, vzhledem ke své tloušťce, zásadnější drenážní funkci.

### **Protihlukové tenké asfaltové koberce**

Jedná se o technologii s upravovanou tloušťkou do 25 mm prováděnou za horka klasickými finišery. V zahraničí se používá nejčastěji pro opravy betonových a

asfaltových vozovek. Hlavním úkolem této technologie je zlepšit protismykové vlastnosti a uzavřít porušený povrch vozovky. Z hlediska čáry zrnitosti (kamenivo frakce 0/4 nebo 0/8, mezerovitost max. do 15 % objemu) jsou tenké asfaltové koberce dost podobné drenážním kobercům. Tyto úpravy se neprovádí za účelem zlepšení drenážní funkce konstrukce, avšak mezerovitá struktura přispívá ke snižování air-pumping efektu. K těmto technologiím řadíme například microdrain, dnešní mikrokoberce (nejedná se o otevřený typ asfaltového koberce). Snižovaný efekt hlučnosti se u tohoto pohybuje kolem 3 dB. Za dalšího zástupce můžeme považovat asfaltové koberce s označením Rugosoft (vymyslela je francouzská společnost COLAS, snižuje efekt hlučnosti až o 7 dB, zajišťuje zatím dlouhodobé protismykové vlastnosti a dobré odvodnění, používají se pro stavbu chodníků, nových silnic ale i pro rekonstrukci stávajících silnic bez ohledu na třídu dopravního zatížení.)

Do této sekce můžeme také zařadit technologii vyvinutou společností EUROVIA CS, a. s. – směs Viaphone.

Viaphone je asfaltová směs o zrnitosti 0/6 nebo 0/8 mm pro tenké obrusné vrstvy snižující hluk od pneumatik. Pokládá se v tloušťce 20 – 30 mm na rovný povrch. Použití speciálně rychle a kontrolovatelně se štěpící emulze udržuje staveniště a okolí čisté. Většina měření směsi Viaphone se prováděla na úsecích dálnic a silnic ve Francii.

#### Výhody a specifika směsi Viaphone

- Přetržitá křivka zrnitosti v oblasti 2 – 4(5) mm, obsah hrubého kameniva frakce 4/6 nebo 4/8 (5/8)
- Pojivo asfalt s přidavkem organických vláken, popřípadě s použitím polymerem modifikovaného asfaltu, vysoký obsah pojiva usnadňuje pokládku
- Snižování valivého hluku – valivý hluk se sníží v podstatě díky jemnozrnnosti směsi. Vláknem napuštěná asfaltem působí jako „tlumič hluku“. Výsledky z měření, prováděné podle normy ČSN ISO 11819-1 Měření vlivů povrchů vozovek na dopravní hluk (mikrofon je umístěn 7,5 m od středu měřené jízdy), jsou:
  - Viaphone  $\leq$  72 dB
  - 0/10 střednězrnná asfaltová směs  $\approx$  76 dB
  - Protihlukové vlastnosti jsou trvalého charakteru.

(pozn.: Snížení dopravního hluku o 3 dB  $\approx$  snížení intenzity dopravy o 50 %)

- Dobré protismykové vlastnosti
- Dobré drenážní vlastnosti
- Vysoký stupeň bezpečnosti (makrotextura s výborným koeficientem podélného tření)
- Nenáchylný k zanášení asfaltu oproti drenážnímu asfaltu
- Vhodný pro výstavbu městských, příměstských, údržbových cest

*Obr. 17: Pokládka směsi Viaphone*



### **Asfaltový koberec drenážní (PA – Porous Asphalt)**

Tato vysoce mezerovitá směs je charakteristická tím, že propouští vodu a úspěšně pohlcuje hluk. Její čára zrnitosti je přerušovaná a podíl zrn co největší frakce by měl být kolem 90 % svého objemu, z toho více jak 70 % tvoří zrna nejhrubší frakce. Drenážní koberce propouští srážkovou vodu a tím zabraňují vzniku kaluží na povrchu vozovky. Jsou kladeny velké požadavky na použité kamenivo (otlukovost, ohladitelnost, odolnost proti mrazu, tvarový index a pevnostní charakteristiky). Výroba této směsi je velmi náročná a nákladná. Oproti běžnému asfaltovému koberci mastixovému SMA se drenážní koberec vyznačuje tím, že obsahuje minimum asfaltové malty vyplňující prostor mezi většími zrny. Bylo u ní zjištěno snižování rizika aquaplaningu a taky přijatelný útlum hluku. Asfaltový koberec drenážní je schopný snížit hladinu hluku o 3 až 5 dB podle světových studií. Právem je nazýváme jako nejméně hlučný povrch. Holandsko tyto směsi využilo na více jak 80% svých vozovek. Běžně se používají v obytných zónách jako podklad pro umělý povrch, do obrusných vrstev silničních a dálničních vozovek. Drenážní koberec musíme rozprostírat na



nepropustný povrch. Ten je docílen provedením nástřiku SAMI membrány. V ČR jsou normově stanoveny tloušťky ohrubných vrstev drenážních koberců – pro PA 8 (drenážní koberec s maximální velikostí zrna použitého kameniva 8 mm) je tloušťka ohrubné vrstvy 25 až 40 mm, pro PA 11 (maximální velikost zrna použitého kameniva 11 mm) je 35 až 50 mm a pro PA 16 (maximální velikost zrna použitého kameniva 16 mm) je 45 až 60 mm.

#### Výhody a nevýhody asfaltového koberce drenážního (PA)

- + Kamenivo tvoří kostru celé směsi
- + Jako pojivo se používají vysoce viskózní asfaltová pojiva (musí mít vynikající lepivost a odolnost proti stárnutí)
- + Skvělé odvedení srážkové vody z povrchu vozovky
- + Vhodné na rychlostní komunikace nebo dálnice
- Délka životnosti kolem 10 let (po uplynutí této doby ztrácí akustické vlastnosti)
- Vysoké požadavky na údržbu
- Velmi lehce se ucpou nečistotami
- Jsou náchylné na vylamování zrn kameniva

### **LOA 5 D**

LOA 5 D je směs vynalezena v Německu pod vedením profesora Martina Radenberga. Snaží se co nejefektivněji využít veškeré možné vědomosti ke snížení hluku. Jedná se tedy o asfaltovou směs pro protihlukové koberce z vysoce kvalitního pojiva při nižší mezerovitosti. Směs vhodná pro městské komunikace, nejnižší útlum hluku bylo zaznamenáno při rychlostech 50 km/h až 60 km/h. Na podobném principu pracuje také směs Viaphone (viz. výše).

### **Vymývaný beton**

U krytů z betonu můžeme vhodnou úpravou povrchu docílit zlepšení akustických vlastností. Na čerstvý betonový kryt aplikujeme postřik zpomalovače tuhnutí. Zpomalovač tuhnutí působí do hloubky cca 2 mm. Pro docílení správného efektu kryt vozovky po postřiku zakryjeme vhodnou fólií po dobu 24 – 30 hodin. Po uplynutí doby speciálními kartáči vytvoříme strukturu vymývaného betonu. Ke snížení hluku dochází díky snížení oscilace pneumatik.

## **Způsoby měření automobilového hluku**

Všeobecně máme několik metod pro zjišťování a porovnávání akustických vlastností vozovek. Na našem úseku jsme měřili pomocí metody CPX, která bude popsána níže.

- ***Coast-By method (CB)*** – Automobil míjí mikrofon při různých rychlostech. Všeobecně měříme maximální hladinu hluku pro rychlosti 80 km/hod pro osobní automobily a 70 km/hod pro nákladní automobily. Využití pro typové a generální testování pneumatik, detailní studie pneumatik a povrchy vozovek.
- ***Controlled Pass-By method (CPB)*** – Zde testujeme pomocí dvou automobilů (jeden malý, druhý velký), které míjejí mikrofon. Měříme maximální hladinu hluku, průměrnou hodnotu rychlosti. Využití pro detailnější studie povrchů vozovek.
- ***Statistical Pass-By method (SPB)*** – Běžná vozidla v dopravním proudu míjí mikrofon umístěný poblíž cesty. Výsledné normalizované hladiny hluku získáme za použití 100 osobních automobilů a 80 nákladních automobilů pro rychlosti 50, 80, 110 km/hod osobních vozidel a 50, 70, 85 km/hod nákladních vozidel. Využití pro typové testování a obecné studie povrchů vozovek.
- ***On Board Sound Intesity method (OBSI)*** – Metoda podobná CPX metodě. Měříme pomocí sondy akustické intenzity, která není citlivá na okolní hluk. Využití pro detailní studie povrchů pneumatik a ke kontrole práce při povrchových úpravách.
- ***Close-Proximity method (CPX – Close proximity method)*** – Měříme pomocí přívěsu (otevřený nebo uzavřený), v kterém je osazená testovací pneumatika. Pneumatiku necháme odvalovat po testovací dráze s mikrofony připevněnými v její blízkosti při rychlostech 50, 80 a 110 km/hod. Mikrofony jsou umístěny v předepsané výšce nad povrchem vozovky. Měření může probíhat za teploty 5 až 30 °C. Zaznamenáváme pak průměrnou hladinu akustického tlaku pro každý dvacetcentimetrový segment a výsledkem je pak index CPXI. Využití pro detailní studie povrchů a pneumatik a taky ke kontrole práce při povrchových úpravách.

## 5 Nízkohlučné asfaltové koberce (SMA LA) – návrhy

Jedná se o nový druh asfaltové směsi s upravenou čarou zrnitosti.

### Výhody asfaltového koberce mastixového – nízkohlučného

- Snížení hlučnosti až o 4 dB oproti referenčnímu povrchu z litého asfaltu.
- Běžné nároky na pravidelnou údržbu, zimní údržbu.
- Nemusí se provádět SAMI membrána.
- Standardní výroba i pokládka

V tomto oddílu bych se zaměřila hlavně na zkoušky, které se prováděly na těchto druhích asfaltových směsí a jejich porovnání s ostatními druhy asfaltových směsí. Tyto zkoušky se dělaly v roce 2010 v laboratořích Ústavu pozemních komunikací.

### Základní informace o SMA LA:

Jedná se o speciální asfaltové koberce mastixové, běžně používané asfaltové koberce mastixové byly vyvinuty v 70. letech dvacátého století, vyvinuté za účelem snížení hlukových emisí z povrchu vozovky. Také se osvědčily svojí vysokou odolností proti tvorbě trvalých deformací, odolnosti proti tvorbě trhlin a svojí vysokou trvanlivostí. Používají se převážně v Německu a Rakousku. Liší se od klasického asfaltového koberce mastixového hlavně svou čarou zrnitosti. Snižuje se u nich podíl jemných částic tak, že se docílí zvýšení mezerovitosti (10 – 12 % z objemu). Běžná mezerovitost směsí SMA v obrusných vrstvách je cca 3 – 4 %. Pro dosažení vyššího útlumu hluku je nezbytné u SMA LA tedy tyto mezerovitosti zvýšit. Využívají se modifikovaná asfaltová pojiva s vysokou přilnavostí ke kamenivu. Nejsou žádné zvýšené požadavky na odvodnění oproti drenážním asfaltům (PA). Útlum hluku je ve srovnání s referenčním povrchem RLS-90 z litého asfaltu o cca 4 – 7 dB (A) vyšší, měřeno statistickou metodou při průjezdu SPB (Statistical Pass-By Method) při rychlosti 120 km/h. Pro dosažení tohoto útlumu se v těchto směsích snižuje podíl filerových částic a přidávají se nejhrubší použité frakce, tedy u SMA 8 LA je to frakce 5/8 (popř. 4/8). Tímto se směs „otevře“ a dosáhneme požadované mezerovitosti. Tato směs vyžaduje zvýšené množství asfaltové emulze pro spojovací postřik cca 0,45 - 0,6 kg/m<sup>2</sup> a snížení mezerovitosti ložní vrstvy, tak abychom nemuseli provádět těsnící SAMI membránu a aby došlo k dobrému spojení s ložní vrstvou. Pokud mezerovitost

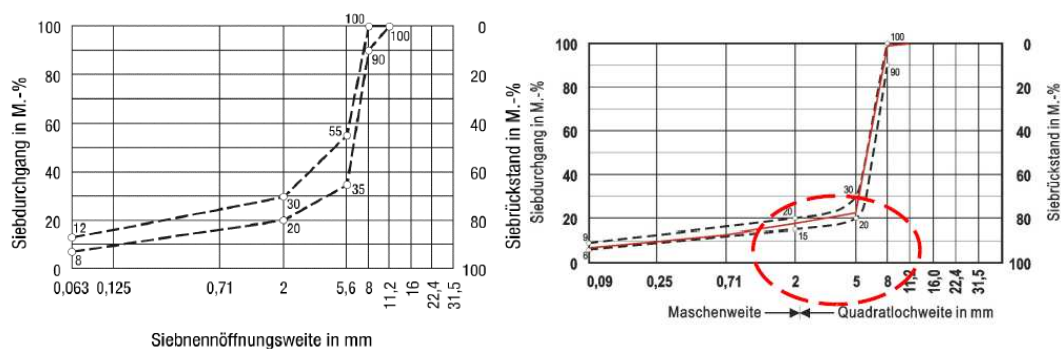
zvýšíme, musíme použít vysoce modifikované pojiva PMB 40/100-65 nebo pojiva modifikované pryží, neboť vysoká mezerovitost způsobuje rychlejší stárnutí pojiva. U těchto směsí se kladou vysoké požadavky na kamenivo (otlukovost, tvarový index).

Tab. 3: Požadavky na směsi SMA 8 LA

Požadavky		SMA 8LA
<b>Vstupní materiály</b>		
<b>KAMENIVO</b>		
Podíl drcených zrn		C <sub>100/0</sub> ; C <sub>95/1</sub> ; C <sub>90/1</sub>
Odolnost proti drcení rázem/LA		SZ <sub>18</sub> /LA <sub>20</sub>
Ohladitelnost, hodnota PSV		PSV <sub>deklarovaná</sub> (51)
Minimální podíl frakce drobného kameniva s E <sub>CS</sub> 35	%	100
<b>POJIVO</b>		40/100-65 A
<b>ASFALTOVÁ SMĚS - NÁVRH</b>		
Zrnitost - propad na síť 11,2 mm	%	100
8 mm	%	90 - 100
5,6 mm	%	20 – 30 (25 - 35) <sup>1)</sup>
2 mm	%	15 - 20
0,063 mm	%	6 _ 9
Minimální obsah pojiva hmotnostně	%	B <sub>min</sub> 6,6
Nosič pojiva	%	≥ 0,3
<b>ASFALTOVÁ SMĚS - VLASTNOSTI</b>		
Teplota hutnění – Marshallova tělesa	°C	135 ± 5
Mezerovitost – Marshallova tělesa	%	10 – 12 (8 – 10) <sup>2)</sup>
Stupeň vyplnění mezer	%	Hodnota se deklaruje
<b>VRSTVA</b>		
Tloušťka	cm	25
Míra zhutnění	%	≥ 97
Mezerovitost	%	10 – 15

1) Pro intravilánové vozovky se někdy ve výběrových řízeních požadují propady uvedené v závorce

2) Objemová hmotnost Marshallových těles se stanovuje dle EN 12697-6, metoda B, SSD

**Obr. 18:** Porovnání oboru zrnitosti u směsi SMA 8 S (vlevo) a SMA 8 LA (vpravo)**Obr. 19:** Vlevo – nový typ směsi SMA 8 LA s vyšší mezerovitostí, uprostřed – dtto po 2 letech používání a vpravo běžná směs SMA 8 S po 2 letech používání

## 5.1 Základní zkoušky

### 5.1.1 Zkoušky kameniva

Pro získání kvalitní a bezpečné vozovky, je prvořadě užití kvalitního kameniva pro obrusné vrstvy. Ze zkoušek kameniva získáme přehled o mechanických, fyzikálních a chemických vlastnostech kameniva. Zkoušky provádíme na celku nebo na jednotlivých frakcích kameniva.

#### Stanovení zrnitosti

- **Podstata zkoušky** – Zkoušku provádíme podle ČSN EN 933-1 Stanovení zrnitosti. Účelem je stanovení hmotnostního podílu jednotlivých frakcí kameniva. Jednotlivé frakce kameniva jsou od sebe odděleny normovou sadou kontrolních sít.
- **Zkušební zařízení**
  - Laboratorní sušárna se samočinným udržováním teploty

- Technické váhy s přesností vážení alespoň 0,1 % navážky
  - Sada normových sít
  - Vibrační zařízení
  - Pomocné nádoby, lopatka, štětec na očištění sít
- **Postup zkoušky** – Při manipulaci se vzorkem musíme dbát na to, aby nedošlo k oddělení prachových částic a celkový objem odplavených částic odpovídal objemu zkoušeného kameniva. Ze vzorku oddělíme navážku dle normy ČSN EN 932-2 „Zkoušení všeobecných vlastností kameniva“. Takto oddělenou navážku vysušíme při teplotě  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Následně se nechá vychladnout a zváží se s přesností na 0,1 g (kontrolní hmotnost). Síta sestavíme na sebe od nejmenších velikostí čtvercových otvorů k největším čtvercovým otvorům a umístíme je na vibrační zařízení. Po strojním prosévání se provede ruční prosévání s každým sítem zvlášť. Zrna kameniva se nesmí protlačovat násilím. Prosévání trvá tak dlouho, dokud propad jednotlivými síty za 1 minutu nebude menší jak 0,1 % hmotnosti navážky. Po ukončení prosévání se zváží zbytky na jednotlivých sítích zvlášť (hmotnost  $m_{zd}$ ) s přesností 0,1 % navážky. Součet dílčích zbytků na sítích a propadu spodním sítem se nesmí lišit o více než 1 % hmotnosti navážky. V případě splnění této podmínky dosadíme do finálního vzorce místo hmotnosti navážky součet dílčích zbytků na sítích. Při zjištění většího rozdílu musíme zkoušku opakovat.

Obr. 20: Sada kontrolních sít



- **Vzorce** – Pro zkoušenou navážku vypočteme zvlášť dílčí zbytek  $a_d$  na každém

sítě normové sady podle vzorce:

$$a_d = \frac{m_{zd}}{\sum m_{zd}} \times 100 (\%)$$

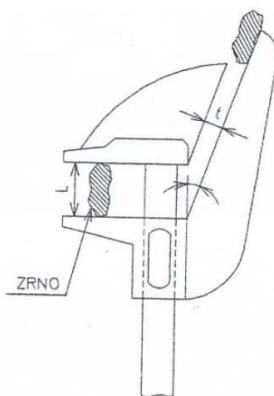
Kde:  $m_{zd}$  je hmotnost dílčího zbytku navážky na daném d-tém síti (g)

$\Sigma m_{zd}$  je úhrnná hmotnost celé zkoušené navážky, vyjádřená jako součet všech dílčích zbytků včetně hmotnosti odplavitelných částic (g)  
(Výsledky se zaokrouhlí s přesností na 1 % navážky.)

### Tvarový index

- **Podstata zkoušky** – Zkouška se provádí pomocí normy ČSN EN 1097-2 „Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností“. Jednotlivé zrna hrubého kameniva roztřídíme pomocí dvoučelistového posuvného měřítka na základě poměru jejich délky k tloušťce. Tvarový index vypočteme jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů délky a tloušťky je větší než 3, a vyjádří se jako procento celkové hmotnosti zkoušených zrn.
- **Zkušební zařízení**
  - Dvoučelistové posuvné měřítko
  - Zkušební síta
  - Sušárna, váhy, misky, prosévací přístroj
- **Postup zkoušky** – Po provedení prosévací zkoušky odstraníme veškeré zrna menší než spodní mez a větší než horní mez frakce. Zaznamenáme hmotnost vzorku. Následně změříme délku a tloušťku každého zrna, pokud je to nutné, k posouzení užijeme dvoučelistové posuvné měřítko. Odložíme veškerá zrna, jejichž součinitel délka/tloušťka  $> 3$ . Tato zrna jsou klasifikována jako nekubického tvaru. Zrna nekubického tvaru zvážíme

**Obr. 21:** Dvoučelistové posuvné měřítko



- **Vzorce** – Tvarový index SI (%) vypočteme podle poměru hmotnosti nekubických zrn k hmotnosti navážky. Zaokrouhlujeme na celé číslo.

$$SI = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

Kde:  $m_1$  je hmotnost navážky (g)

$m_2$  je hmotnost nekubických zrn (g)

### **Stanovení hmotnostního podílu odplavitelných částic**

- **Podstata zkoušky** – Udává procentuální zastoupení částic do velikosti max. 0,063 mm. Podíl se stanoví pomocí procezovacího způsobu. Při kterém dojde k promíchání kameniva s vodou a následné prosetí sítím o velikosti 0,063 mm.
- **Zkušební zařízení**
  - Technické váhy
  - Laboratorní sušárna
  - Nádoba na rozplavování kameniva vodou
  - Prosévací síto o velikosti 0,063 mm
  - Kovová tyč o průměru minimálně 1 cm k promíchávání
- **Postup** – Navážka kameniva vysušená při teplotě 105 °C se nasype do nádoby, která je vzápětí zalitá vodou tak, aby hladina vody byla nejméně 50 mm nad povrchem kameniva. Poté kamenivo důkladně promícháme po dobu cca 5 minut. Voda co odtéká pryč, se přelije přes síta o velikosti 0,063 mm. Postup opakujeme do té doby, dokud z navážky nevytéká jen čistá voda. Maximální množství odplavitelných částic by mělo být v rozsahu 1,5 až 3 % hmotnosti kameniva podle druhu a třídy kameniva.
- **Vzorce** – Obsah odplavitelných částic vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$b = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Kde:  $m_1$  je hmotnost vysušené navážky před promýváním (g)

$m_2$  je hmotnost vysušené navážky po promývání (g)

### **Odolnost proti drcení metodou Los Angeles**

- **Podstata zkoušky** – Zkouška se provede pomocí normy ČSN EN 1097-2 „Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva“. Po předepsanou

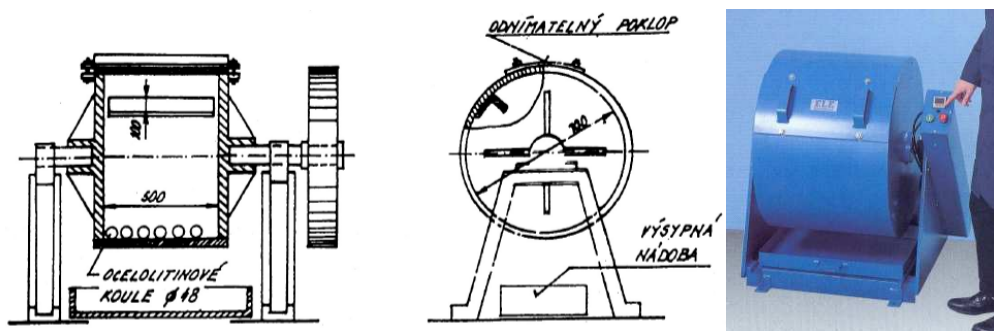


dobu omíláme kamenivo otáčením bubnu, kde jsou ocelové koule. Po uplynutí této doby zjistíme množství materiálu, které zůstalo na síti 1,6 mm.

- **Zkušební zařízení**

- Otlukový buben Los Angeles
- Prosévací síta o velikosti 1,6 mm, 10 mm, 14 mm
- Váha s přesností 0,1 g
- Laboratorní sušárna, kde se dokáže udržovat teplota v rozmezí  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$

Obr. 22: Otlukový buben Los Angeles



- **Příprava zkušební vzorku** – Zkoušený vzorek musí mít minimálně 15 kg zrn o velikosti od 10 mm do 14 mm. Zkoušku pak provedeme s kamenivem, jejíž zrna propadla sítem 14 mm a zůstala na síti 10 mm. Jako další požadavek bereme zrnitost zkušební vzorku, která vyhoví následujícím požadavkům:

- Propad sítem 12,5 mm mezi 60% a 70% nebo
- Propad sítem 11,2 mm mezi 30% a 40%

Zkušební vzorek prosejeme sadou sít až zůstane poslední velikost zrna do 14 mm. Každou frakci samostatně propereme dle článku 6 EN 933-1:1997 a vysušíme v sušárně při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti. Frakce se nechají vychladnout při teplotě laboratorního prostředí. K získání upravené frakce 10 mm až 14 mm se smíchají dříve získané dvě frakce, které vyhovují výše uvedeným doplňujícím požadavkům na zrnitost. Upravená frakce, která byla připravena, smícháním frakcí se zmenší na zkušební navážku dle EN 932-2. Zkušební navážka musí mít hmotnost  $(5000 \pm 5)$  g.

- **Postup** – Než naplníme buben, musíme se ujistit, že je buben čistý. Nejdříve do bubnu vložíme koule, pak zkušební vzorek. Uzavřeme buben. Buben se začne točit při stejnosměrné rychlosti 31 – 33 otáček/min 500 krát. Po ukončení vyjmeme kamenivo a koule do misky. Opatrně vyjmeme z misky koule tak, aby

nedošlo ke ztrátě žádných jemných součástí. Potom provedeme síťový rozbor dle EN 933-1:1997 praním a proséváním s použitím síta 1,6 mm. Zůstatek na síti 1,6 mm vysušíme při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti.

- **Vzorce** – Výpočet provedeme podle následující vztahu:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

Kde: **m** je hmotnost zůstatku na síti 1,6 mm (g)

### **Stanovení zrnitosti kamenné moučky**

- **Podstata zkoušky** – Tato zkouška spočívá ve stanovení suchých hmotnostních podílů jednotlivých frakcí, vymezenou předepsanou normovou sadou kontrolních sít. Toto stanovení napomáhá při návrhu čáry zrnitosti.
- **Zkušební zařízení**
  - Laboratorní sušárna
  - Váha s přesností vážení alespoň 0,1 % navážky
  - Prosévací síta o velikosti 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063
  - Pomocné misky, lopatka, štětec na očištění sít
- **Postup** – Ze vzorku kamenné moučky odebereme dvě navážky, které vysušíme v sušárně při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti a necháme je vychladnout na laboratorní teplotu. Potom obě navážky zvážíme s přesností 0,1 g a nasypeme na řadu kontrolních sít (záchytné síto 0,25 následuje síto 0,063). Obě síta se umístí pod proud tekoucí vody. Při případném ucpání síta můžeme použít plochý štětec. Poté si podle velikosti sestavíme normovou sadu sít tak, že se síta seřadí od nejjemnějšího 0,063 v sadě, jenž se umístí nejnižše, až k nejhrubšímu s největšími oky, jenž se umístí nejvýše. Vysušený zbytek navážky se nasype na horní síto normové sady a celá sada se chvíli ručně prosévá. Poté se sada postupně rozebírá a provádí se prosévání na každém síti, opatřeném dnem a plným víkem, zvlášť tak dlouho, dokud propad jednotlivým sítem za jednu minutu prosévání nebude menší jak 0,1 % hmotnosti navážky. Po ukončení prosévání se dílčí zbytky navážky na každém jednotlivém síti pomocí štětce sesypou na pomocnou misku a zváží s přesností 1 % navážky.

- **Vzorce** – Procentuální dílčí zbytky na každém síti vypočteme podle

$$\text{následujícího vztahu: } a_d = \frac{m_{2d}}{m_1} \times 100$$

Kde:  $m_1$  je hmotnost celé navážky (g)

$m_{2d}$  je hmotnost dílčího zbytku navážky na daném d-tém síti (g)

Výsledek získáme jako dílčí součet zbytků na všech sítích s velikostí oka menší než je příslušné síto, kde je propad počítán. Potom pomocí aritmetického průměru obou zkoušek získáme výsledek, který zaokrouhlíme s přesností 1% navážky

### **Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování**

- **Podstata zkoušky** – Zkoušku zmrazování a odmrazování provádíme pomocí normy ČSN EN 1367-1 „Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování“. Předem připravené mokré navážky vystavujeme účinkům 10 cyklů zmrazování a rozmrazování. Zmrazujeme při teplotě  $-17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , rozmrazujeme ve vodní lázni při teplotě okolo  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Po ukončení zmrazování a rozmrazování zjistíme, zda se kamenivo nějak podstatně změnilo (trhlínky, úbytek hmotnosti, změny pevnosti).
- **Zkušební zařízení**
  - Sušárna
  - Váhy s přesností  $\pm 0,1\text{ g}$
  - Mrazicí box s cirkulací vzduchu
  - Kovové nádoby z nerezové oceli o tloušťce  $0,6\text{ mm}$ , vnitřním průměrem  $(120 - 140)\text{ mm}$ , vnitřní výška  $(170 - 220)\text{ mm}$ . Na nádobě musí být umístěna vhodná poklice.
  - Zkušební síta
  - Voda
- **Postup** – Předem připravené navážky umístíme do vody do kovových nádob po dobu 24 hodin při teplotě  $(20 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Hladina vody musí být nejméně  $10\text{ mm}$  nad dílčí navážku. Po uplynutí doby zkontrolujeme zda-li hladina vody je  $10\text{ mm}$  nad horním povrchem dílčí navážky, přikryjeme nádoby poklicemi a umístíme je do mrazicího boxu. Vzdálenost mezi jednotlivými nádobami nesmí

být menší jak 50 mm. Následně jsou dílčí navážky vystaveny 10 cyklům zmrazování a 10 cyklům rozmrazování. Nejdříve teplotu snížíme z  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$  na  $(0 \text{ až } - 1) ^\circ\text{C}$  během  $(150 \pm 60)$  minut, teplotu  $(0 \text{ až } - 1) ^\circ\text{C}$  udržujeme po dobu  $(210 \pm 90)$  minut. Pokračuje další zmrazování z  $(0 \text{ až } - 1) ^\circ\text{C}$  na  $(- 17,5 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$  během  $(180 \pm 60)$  minut po dobu 240 minut. Teplota nesmí poklesnout pod hodnotu  $- 22 ^\circ\text{C}$ . Když ukončíme každý cyklus zmrazování, musíme nádoby rozmrazit ve vodě o teplotě  $20 ^\circ\text{C}$ . Rozmrazování ukončíme, až nádoby budou mít cílovou teplotu  $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ . Po ukončení všech cyklů obsah nádob vložíme na síto o velikosti otvorů poloviny velikosti otvorů dolního síta. Provedeme ruční prosetí a promytí. Zůstatek na sítě pak vysušíme při teplotě  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Po vychladnutí zbytek zvážíme.

- **Vzorce** – Procentuální hmotnostní úbytek zjistíme podle následujícího vztahu:

$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

Kde: **M<sub>1</sub>** je počáteční vysušená celková hmotnost tří dílčích navážek (g)

**M<sub>2</sub>** je konečná vysušená celková hmotnost tří dílčích navážek, které zůstaly na sítě (g)

**F** je procentuální úbytek hmotnosti tří dílčích navážek po zmrazování a rozmrazování

### 5.1.2 Zkoušky asfaltových pojiv

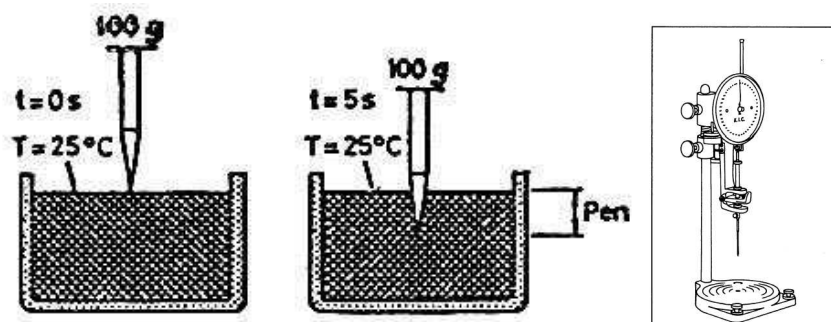
Asfalt je vedle kameniva druhou základní složkou asfaltových směsí plnící funkci pojiva. Za pojivo můžeme volit asfalt, asfaltovou emulzi nebo ředěný asfalt. Pomocí asfaltu obalujeme kamenivo a tím vytváříme celou nosnou kostru směsi. Na zrna kameniva se asfalt váže pomocí adhezních a kohezních sil. Rozhodující pro výběr vhodného pojiva je budoucí funkce daného materiálu ve vozovce s ohledem na dopravní zatížení, návrhovou úroveň porušení a charakteristiku klimatu.

Asfalty zkoušíme pomocí přesně stanovených normových zkoušek. Mezi tyto zkoušky řadíme stanovení penetrace jehlou, bod měknutí metodou KK, teplota lámavosti podle Fraasse a vratná duktilita.

## Penetrace

- **Podstata zkoušky** – Zkouška se stanovuje pomocí normy ČSN EN 1426 „Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení penetrace jehlou“. Úkolem penetrace je zjištění hloubky proniknutí normalizované jehly do zkušebního vzorku za dobu 5 sekund při teplotě 25 °C. Z výsledků penetrace zjistíme výslednou viskozitu polotuhých silničních asfaltů a můžeme daný vzorek asfaltu zatřídit a posoudit. Udáváme v desetínách milimetrů.
- **Zkušební zařízení**
  - Penetrometr (píst  $47,50 \pm 0,05$  g, závaží  $50,00 \pm 0,05$  g)
  - Penetrační jehla ( $2,50 \pm 0,05$  g)
  - Nádoba na zkušební vzorek o vnitřním průměru 55 -70 mm a výšky min 35mm
  - Vodní lázeň s kapacitou minimálně 10 l
  - Misky a teploměry s pevným stonkem
- **Postup** – Vzorek za občasného míchání roztavíme na teplotu o 80 až 90 °C vyšší než je bod měknutí (KK). Následně necháme vzorek zchladnout na teplotu 15 až 30 °C po dobu 60– 90 minut. Potom vzorek umístíme do vodní lázně o teplotě 25 °C. Hrot jehly umístíme tak, aby se vzorku dotýkal svojí špičkou. Penetrometr se nastaví na nulovou polohu a následně spustíme jehlu na vzorek po dobu 5 sekund. Tato jehla vniká do vzorku silou 1 N. Hloubku vniknutí jehly do vzorku odečteme na stupnici

Obr. 23: Penetrace, penetroměr



Zkoušku opakujeme třikrát v různých místech vzorku, vzdálených od sebe minimálně 10 mm a ne blíže než 10 mm od okraje nádoby. Jehly vyjmeme ze vzorku společně až po ukončení zkoušky.

**Bod měknutí – kroužek kulička (KK)**

- **Podstata zkoušky** – Zkoušku provádíme podle normy ČSN EN 1427 „Asfalty a asfaltová pojiva – Stanovení bodu měknutí – metoda kroužek a kulička“. Pomocí zkoušky KK zjišťujeme chování asfaltu při vysokých teplotách. Stanovujeme pomocí této metody horní hranici plasticity. Překročí-li asfaltová směs tuto hranici, dostane se do tekutého stavu. Bod měknutí závisí na viskozitě vzorku, na jeho povrchovém napětí a na rychlosti stoupání teploty při zahřívání. Bodem měknutí tedy rozumíme teplotu, při které asfalt změkne tak, že ocelová kulička průměru 9,5 mm pronikne vrstvou asfaltu a protáhne ji do hloubky 2,5 cm pod spodní okraj prstenu. Výsledek se potom zaznamená v °C.
- **Zkušební zařízení**
  - Mosazné kroužky s osazením o vnitřním průměru 15,9 mm.
  - Prstence pro osazení kuličky
  - Ocelové kuličky o průměru 9,5 mm a hmotnosti 3,45 až 3,55 g
  - Kovový stojánek
  - Kádinka o vnějším průměru nejméně 85 mm a výšky 120 mm
  - Teploměr
  - Podložka s hladkým povrchem
  - Míchadla a voda
- **Postup** – Vzorek rozehtřejeme na teplotu, která je o 90 °C větší než jeho očekávaný bod měknutí. Následně ho nalijeme do připravených kroužků na kovové podložce natřené směsí glycerínu s dextrinem. Potom vzorek necháme vychladnout po dobu 30 minut při laboratorní teplotě (20±5) °C a seřízeme zbytek vzorku mírně nahřátým nožem v rovině horního okraje kroužku. Mezitím naplníme nádobu s vodou. Voda by měla mít teplotu cca + 5 °C a povrch lázně by měl být (50±3) mm nad horním okrajem kroužků. Kroužky usadíme do stojánku včetně středních kroužků a teploměru. Kuličky se položí na dno. Po 15 minutovém temperování se stojánek s kuličkami vyjme a kuličky vložíme do středních prstenců na vzorky a opět vše vložíme do lázně, kde ji zahříváme. Je nutné dbát na to, aby kapalina v lázni nebyla špinavá nebo neobsahovala jakýkoliv cizorodý materiál, který by ovlivnil výsledky. Měříme teplotu protažení změkklého vzorku pod tlakem kuličky, kdy se kulička dotkne dna nádoby. Uvolní-li se vzorek nebo vypadne-li kulička a liší-li se výsledky o více

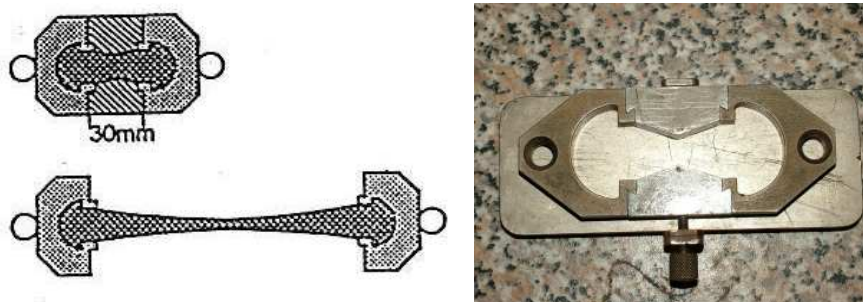
než 2°C, musí se zkouška opakovat. Výsledná hodnota bodu měknutí stanovená zkouškou kroužek kulička je aritmetický průměr ze dvou měření, zaokrouhlený na 0,1 °C.

### **Vratná duktilita**

(Tato zkouška se provádí pouze pro modifikované asfalty)

- **Podstata zkoušky** – Podstata zkoušky spočívá v protažení asfaltového tělíska na délku 25 cm konstantní rychlostí 50 mm/min při teplotě 25 °C, v následném přestřižení tělíska uprostřed a výsledkem je míra zpětného protažení. Výsledek se vyjadřuje v procentech z délky prodloužení.

*Obr. 24: Podstata zkoušky vratné duktility, forma na vzorek*



- **Zkušební zařízení**
  - Duktilometr (vodní lázeň, regulace teploty, trakční zařízení)
  - Forma
  - Separační prostředek
  - Pravítko
- **Postup** – Vzorek nalijeme do předem sestavené mírně nahřáté formy na podkladní destičce opatřené separačním prostředkem. Necháme zhládnout při laboratorní teplotě po dobu 30 minut a vzorek umístíme do vodní lázně na dobu  $(30 \pm 5)$  minut. Potom se provede seříznutí přebytku asfaltové směsi a provede se temperace po dobu  $(90 \pm 5)$  minut při teplotě  $(25 \pm 0,5)$  °C. Po tomto připravení vzorku odstraníme bočnice z formy a vzorek umístíme do trakčního zařízení a začneme natahovat vzorek na  $(200 \pm 1)$  mm konstantní rychlostí 50 mm/min. Po zastavení protahování během 10 sekund přestříhneme vzorek a necháme oba

konce volně se vracet do původní podoby. Po 30 minutách změříme délky obou konců.

- **Vzorce** – Vratnou duktilitu stanovujeme pomocí normy ČSN EN 13398. Výsledkem je aritmetický průměr stanovený ze dvou zkušebních vzorků a nesmí se lišit o více než 5 %. Vypočteme z následujícího vzorce:

$$RE = \frac{d}{200} \times 100$$

Kde: d je vzdálenost mezi polovlákný (mm)

## 5.2 Návrh asfaltových směsí

Asfaltové směsi navrhujeme podle normy ČSN 73 6160. Stanovujeme podle ní optimální složení asfaltové směsi a její fyzikální a fyzikálně-mechanické vlastnosti, druh a kvalitu stavebních materiálů.

Při stanovení optimálního složení asfaltové směsi nejdříve stanovíme zrnitost jednotlivých frakcí kameniva a potom provedeme:

- **Návrh čáry zrnitosti** – Čára zrnitosti kameniva by měla ležet uvnitř příslušného oboru zrnitosti a odpovídat účelu použití směsi. Čáru zrnitosti definujeme jako grafické vyjádření vztahu mezi velikostí zrn kameniva a propadem zrn na jednotlivých sítích. Pro stanovení čáry zrnitosti musíme nejdříve zjistit příslušné čáry zrnitosti jednotlivých frakcí kameniva. Odhadneme stanovení procentuálního zastoupení každé frakce kameniva v navrhované směsi. Podle zvoleného procentuálního zastoupení frakcí se sníží propad na jednotlivých sítích pomocí přenásobení procentuálního zastoupení každé použité frakce na jednotlivých sítích. Následně sečteme celkový propad výsledné směsi. Čára zrnitosti musí ležet v oboru zrnitosti, tedy mezi horní a dolní mezní čarou zrnitosti příslušné asfaltové směsi. Je vhodné početní řešení kontrolovat s grafickým řešením. Pokud výsledná čára zrnitosti nevyhovuje, opakujeme celý postup s jiným zvoleným procentuálním zastoupením frakcí. Tento postup není závazný, můžeme využít možnosti programu.

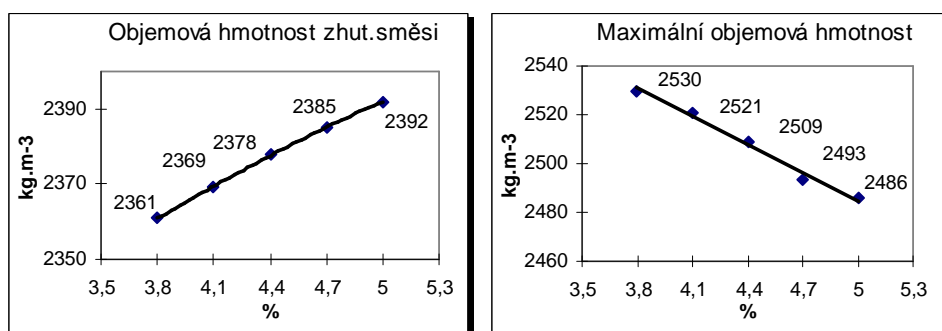


Obr. 25: Příklad návrhu čáry zrnitosti pro asfaltovou směs

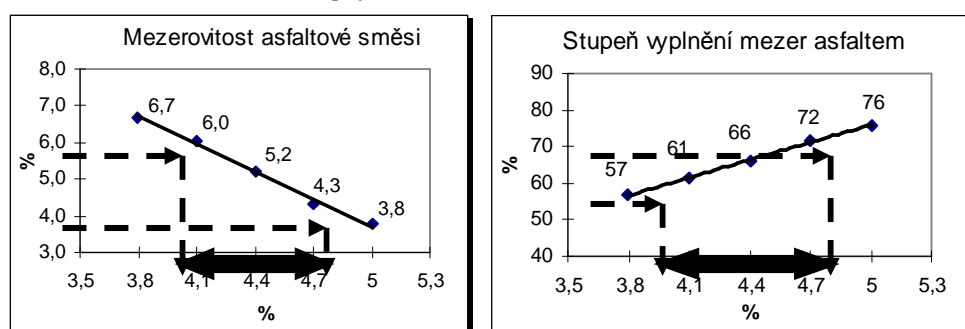
	FRAKCE KAMENIVA	PROPAD SÍTEM (%)											
		31,5	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
1	16/22	100	86,4	14,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	8/16	100	100	97,4	53,0	6,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
3	4/8	100	100	100	100	90,1	14,9	3,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4
4	0/4 SDK	100	100	100	100	100	94,9	69,0	48,9	31,7	15,0	5,8	3,9
5	0/4 STK	100	100	100	100	100	86,0	76,0	63,4	30,3	4,2	1,7	1,0
6	Přídavný filer	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98,0	86,0	78,5

- **Stanovení optimálního množství pojiva** – Optimální množství pojiva zjistíme pomocí součinitele sytosti, podle konstant nebo podle dřívějších zkušeností.
  - Teoretické optimální množství pojiva „**p**“ – jedná se množství pojiva stanovené pomocí konstant, součinitele sytosti nebo podle dřívějších zkušeností
  - Navrhované množství pojiva – je interval obsahu pojiva stanovený pomocí objemových charakteristik asfaltové směsi pro jednotlivé sady a následným porovnáním s hodnotami v normě
  - Výsledné optimum pojiva – hodnota vycházející z navrhovaného množství pojiva a možných zkušeností navrhovatele.
  - Měrný povrch kameniva „**ε**“ – součet ploch povrchů jednotlivých zrn kameniva o celkové hmotnosti 1 kg a dané zrnitosti v  $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ .
  - Součinitel sytosti asfaltové směsi „**n**“ – je číslo, kterým upravujeme tloušťku asfaltového filmu při výpočtu.
  - Konstanta „**K**“ – číslo, kterým násobíme hmotnost jednotlivých frakcí kameniva na každém síti.
- **Stanovení navrhovaného množství pojiva** – pro stanovení optimálního množství pojiva se doporučuje namíchat 3 sady s tím, že optimální množství tvoří obvykle střední sadu. Pro každou sadu se vytvoří 4 Marshallova tělesa, u kterých stanovíme jejich objemovou hmotnost a maximální objemovou hmotnost asfaltové směsi. Následně vyhodnotíme podle druhu a požadavků směsi vždy mezerovitost  $V_m$  (%), obsah asfaltu  $A_p$  (%). Někdy musíme stanovit stupeň vyplnění mezer pojivem VFB (%), mezerovitost směsi kameniva VMA (%). Veškeré tyto hodnoty vyneseme do grafů.

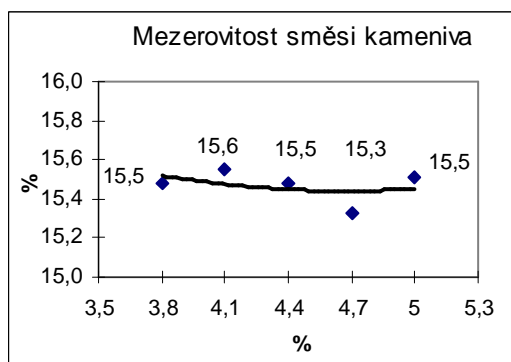
**Obr. 26:** Graf závislosti objemové hmotnosti ztuhlé asfaltové směsi a maximální objemové hmotnosti na obsahu pojiva v % hmotnosti



**Obr. 27:** Graf závislosti objemové mezerovitosti asfaltové směsi a stupně vyplnění mezer na obsahu pojiva v % hmotnosti



**Obr. 28:** Graf závislosti mezerovitosti směsi kameniva na obsahu pojiva v % hmotnosti



### 5.2.1 Návrh asfaltových směsí provedených v roce 2010

V roce 2010 se prováděly pokusy s SMA LA ve spolupráci se Sdružením pro výstavbu silnic Praha. Snažili jsme se vyrobit tuto směs s tím, že jsme postupovali podle Německých předpisů, zároveň jsme tuto směs porovnávali s běžnými směsmi SMA. Použili jsme dva různé druhy pojiv. První byl vysoce modifikovaný asfalt s modifikátorem SBS s označením PMB 40/100-75 a druhý byl asfalt modifikovaný pryžovým granulátem s označením RmB G 20/60-55 (skládá se ze 78 % asfaltu 50/70 a 22 % gumového granulátu, gumový granulát obsahuje 40 % drcené gumy a 60 % asfaltu 70/100, výsledné pojivo RmB pak obsahuje 7,2 % drcené gumy) podle německých

předpisů. Oba dva druhy pojiv vykazují vysokou přilnavost ke kamenivu a vyšší odolnost proti stárnutí.

**Obr. 29:** Asfaltové pojiva (mastix, drcená guma)



Na vybraném pojivu jsme provedli základní zkoušky – penetrace, bod měknutí KK, vratná duktilita. Výsledky jsou zaznamenány níže v tabulce.

**Tab. 4:** Výsledky základních zkoušek pojiv

	<b>Penetrace (<math>\text{mm} \cdot 10^{-1}</math>)</b>	<b>Bod měknutí KK (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>	<b>Vratná duktilita (%)</b>
<b>PMB 40/100-75</b>	70	88,8	100
<b>RmB G 20/60-55</b>	38	59,7	-

Obě pojiva jsme použili pro návrh směsí SMA 8 S i SMA 8 LA a byly tak vytvořeny celkem 4 sady. V jedné sadě byla vyrobena 3 Marshallova tělesa. Navážka na jedno Marshallovo těleso činila 1210 g. Tyto hodnoty jsou pro směsi SMA 8 S. Pro směsi SMA 8 LA byly vytvořeny dvě sady po 3 Marshallových tělesech, kde hmotnost jedné navážky byla 1110 g. Postupovalo se podle evropských norem.

Kamenivo jsme použili z lokality Luleč (droba) pro frakce 0/4, 4/8 a vápencovou moučku jsme použili z lokality Mokrá. Kamenivo bylo skladováno v prostorách silniční laboratoře. Nejdříve jsme kamenivo vysušili do ustálené hmotnosti a následně jsme promísili kamenivo v nádobě bez pojiva. Po důkladném promíchání jsme umístili směs kameniva do sušárny a tuto směs nechali ohřát na teplotu míchání  $175^{\circ}\text{C}$  (pro směs SMA 8). Po dosažení výsledné teploty jsme směs kameniva smíchali s pojivem, které jsme taky ohřáli na cílenou teplotu míchání. Potom jsme promíchanou směs nechali temperovat v sušárně na teplotu hutnění  $165^{\circ}\text{C}$  (pro směs SMA 8). Pak jsme vytvořili Marshallova tělesa (nahutněním pomocí Marshallova pěchu 2 x 50 údery), na kterých jsme prováděli zkoušky. Pro směsi SMA 8 LA byla teplota míchání  $175^{\circ}\text{C}$  a teplota hutnění  $135^{\circ}\text{C}$ . Hutnění jsme prováděli pomocí Marshallova pěchu 2 x 50 údery.

Výsledná zrnitost kameniva pro SMA 8 S je znázorněna v následující tabulce:

*Tab. 5: Sítový rozbor frakcí kameniva*

<b>Frakce</b>	<b>4 - 8 Luleč</b>	<b>0 - 4 Luleč</b>	<b>Moučka Mokrý</b>	<b>Celkem</b>
22	100	100	100	100
16	100	100	100	100
11	100	100	100	100
8	87	100	100	91
4	5	95	100	30
2	2	70	100	24
1	2	51	100	20
0,5	2	37	100	18
0,25	2	22	100	15
0,125	2	9	92	12
0,063	1,7	3,4	72,2	8,7
<b>Dávkování</b>	<b>72,5</b>	<b>18</b>	<b>9,5</b>	<b>100</b>

*Tab. 6: Obsah jemných částic frakcí kameniva*

<b>Frakce</b>	<b>Obsah jemných částic (%)</b>
4 - 8 Luleč	1,7
0 - 4 Luleč	3,4
Váp. moučka	72,2

Výsledná zrnitost kameniva pro SMA 8 LA je:

*Tab. 7: Sítový rozbor frakcí kameniva*

<b>Frakce</b>	<b>4 - 8 Luleč</b>	<b>0 - 4 Luleč</b>	<b>Moučka Mokrý</b>	<b>Celkem</b>
22	100	100	100	100
16	100	100	100	100
11	100	100	100	100
8	87	100	100	89
4	5	95	100	22
2	2	70	100	16
1	2	51	100	14
0,5	2	37	100	12
0,25	2	22	100	10
0,125	2	9	92	7
0,063	1,7	3,4	72,2	5,5
<b>Dávkování</b>	<b>81</b>	<b>14</b>	<b>5</b>	<b>100</b>

Z toho jsme určili optimální dávkování jednotlivých frakcí kamerniva. Dávkování asfaltového pojiva bylo stanoveno na základě předchozích zkušeností.

**Tab. 8:** Dávkování jednotlivých frakcí kameniva

	<b>Váp. moučka (%)</b>	<b>frakce 0/4 (%)</b>	<b>frakce 4/8 (%)</b>
<b>SMA 8 S</b>	9,5	18	72,5
<b>SMA 8 LA</b>	5	14	81

**Tab. 9:** Výsledky jednotlivých zkoušek kameniva

Tvarový index SI (%)	23
Otlukovost (%)	21
Odolnost proti zmrazování a rozmrazování (%)	1
Ohladitelnost kameniva PSV	56

Optimální množství pojiva u všech směsí: 6,6 %

Topcel (Celulární vlákna s voskem): 0,3 % z hmotnosti výsledné směsi

Mezerovitost směsí SMA 8 S v rozmezí: 3,8 – 4,1 %

Mezerovitost směsí SMA 8 LA: 8,1 % (PMB), 8,6 % (RmB)

## 5.2.2 Návrh asfaltových směsí provedených v roce 2011

Oproti předchozímu roku se v roce 2010 navrhovaly pouze asfaltové směsi nízkohlučné SMA 8 LA. Při prvních pokusech v roce 2010 byly použity frakce kameniva 0 – 4, 4 – 8. Avšak německé podklady udávají frakce kameniva 0 – 2, 5(5,6) – 8. Frakce kameniva 0 – 4 hůře ovlivňuje mezerovitost, proto jsme použili frakce kameniva 0 – 2, 5(5,6) – 8 přesně podle německých předpisů a srovnávali taktéž mezerovitost s těmito podklady. Záleží taky na nadsítném frakce 0 – 2 a podsítném frakce 5(6) – 8. Také můžeme odlišovat směsi při srovnatelných mezerovitostech podle vizuální prohlídky makrotextury navrhovaných směsí.

**Obr. 30:** Makrotextura povrchu SMA 8 LA frakce 0 – 2, 5(5,6) – 8 a makrotextura povrchu SMA 8 LA frakce 0 – 4, 4 – 8. Mezerovitost směsí je srovnatelná.



Při návrhu směsi jsme použili kamenivo frakcí 5 – 8 a frakcí 0 – 2 z lokality Masty. Vápencová moučka byla z lokality Horní Lánov. Na jednotlivých frakcích kameniva byly stanoveny vybrané zkoušky kameniva – tvarový index, odolnost proti drcení atd.. Výsledky jednotlivých zkoušek jsou zobrazeny v následujících tabulkách.

**Tab. 10:** Sítový rozbor jednotlivých frakcí kameniva

<b>Frakce</b>	<b>HDK 5 - 8 Masty</b>	<b>SDK 0 - 2 Masty</b>	<b>Filer VJM Horní lánov</b>
31,5	100	100	100
22,4	100	100	100
16	100	100	100
11	100	100	100
8	89	100	100
5, 6	17	100	100
4	2	100	100
2	1	95	100
1	1	63	100
0,5	1	42	100
0,25	1	29	100
0,125	1	22	96
0,063	0,8	17,7	79,5
<b>Dávkování</b>	<b>85</b>	<b>9</b>	<b>6</b>

**Tab. 11:** Obsah jemných částic kameniva

<b>Frakce</b>	<b>Obsah jemných částic (%)</b>
HDK 5 -8	0,8
SKD 0 -2	17,7
Váp. moučka	79,5

Jako asfaltové pojivo bylo zvoleno pojivo Mexphalt RM+ modifikované pryžovým granulátem. Toto pojivo bylo vyrobeno firmou Shell. A na pojivu byly provedeny zkoušky – penetrace a bod měknutí.

**Tab. 12:** Výsledky zkoušek pojiv

	<b>Penetrace (mm*10<sup>-1</sup>)</b>	<b>Bod měknutí KK (°C)</b>
<b>Mexphalte RM+</b>	47	75,4

Z předchozích zkušeností byl stanoven obsah asfaltového pojiva na 7,8 %. Výsledná směs se míchala při 170 °C a hutnila pomocí Marshallova pěchu 2 x 50 úderů při teplotě 160 °C.

**Tab. 13:** Celkový návrh složení asfaltové směsi v %

Filer	Horní lánov	<b>5,5</b>
SDK 0 - 2	Masty	<b>8,3</b>
HDK 5 - 8	Masty	<b>78,4</b>
Asfalt	Mexphalte RM+	<b>7,8</b>

## 5.3 Zkoušky asfaltových směsí

Na navržených asfaltových směsích jsme prováděli celkem 3 zkoušky - zkoušku stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči účinkům vody, stanovení odolnosti proti tvorbě trvalých deformací a zkoušku stanovení modulů tuhosti. Jednotlivé zkoušky jsou stručně popsány níže.

### 5.3.1 Trvalé deformace (zkouška opakovaným pojížděním kolem)

Zkouška opakovaným pojížděním kola patří mezi nejvíce známou laboratorní zkoušku asfaltových směsí pro zjištění odolnosti proti trvalým deformacím. Můžeme provádět na vyrobených tělesech v laboratořích ale i na vývrtech.

- **Podstata zkoušky** – Trvalé deformace se zjišťují pomocí normy ČSN EN 12697 – 22 „Asfaltové směsi – Zkušební metody pro směsi zpracované za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem“. Zaznamenává postup pro stanovení náchylnosti asfaltových směsí k deformaci pod zatížením. Platí pouze pro směsi s maximální velikostí zrna  $\leq 32$  mm. Podstatou je získat hloubku vyjeté koleje pomocí opakovaného pojíždění vzorku zatěžovacím kolem při konstantní teplotě. Výsledek této zkoušky je pak celková hloubka koleje na konci zkoušky nebo přírůstek mezi dvěma cykly. Rozlišujeme mezi dvěma zkušebními zařízeními.
  - *Velké zkušební zařízení a extra velké zkušební zařízení* – má huštěnou pneumatiku bez dezénu a jeho desky hutníme ve formách a temperujeme na vzduchu. Tato zařízení se obvykle v ČR nepoužívají. Pomocí tohoto zařízení měříme odolnost proti tvorbě trvalých deformací v zemích, kde je dovolené zatížení  $\geq 13$  t na jednu nápravu.
  - *Malé zkušební zařízení* – má kolo z ocelové obruče s gumou. Desky hutníme ve formách o rozměru 320 x 260 x 40 (příp. 50) a temperujeme na vzduchu. Zařízení používáme tam, kde zatížení na jednu nápravu nepřekročí 13 t.

V našem případě jsme měřili deformace pomocí malého zkušebního zařízení.

- **Zkušební zařízení**
  - Rozebíratelné ocelové formy o rozměrech 320 x 260 x 40 mm



- Zkušební stůl, který má umožnit pevné uchopení zkušebního vzorku
  - Zařízení pro vyjíždění kolem (dvě ocelová kola, které mají gumovou obruč bez dezénu s vnějším průměrem 200 mm až 205 mm, obdélníkovým průřezem o šířce  $(50 \pm 5)$  mm a tloušťce  $(20 \pm 2)$  mm, upevněná ke zkušebnímu stolu)
  - Vodní lázeň s možností upevnění zkušebního vzorku
  - Elektromotor pro pohon kola
  - Měřicí zařízení ke sledování velikosti svislé deformace
  - Počítač k zaznamenávání průběhu deformace
- **Zkušební podmínky**
    - Těleso upevníme k formě, povrch musí být v jedné rovině s okrajem
    - Desky temperujeme nejméně po 4 hodiny při dané teplotě
    - Teplota vodní lázně je  $(50 \pm 1)$  °C, případně  $(60 \pm 1)$  °C
    - Svislé zatížení kolem  $(710 \pm 10)$  N
    - Celková dráha pojezdu  $(230 \pm 10)$  mm
    - Frekvence  $(26,5 \pm 1,0)$  zatěžovacích cyklů/min
    - Počet pojezdů 20 000
  - **Postup zkoušky** - Nejdříve připravíme vzorek v lamelovém zhutňovači. Pro zkoušky se vyrobí vždy dvě zkušební desky, jejichž objemová hmotnost musí být nejméně 98% objemové hmotnosti zjištěné na Marshallově tělese vyrobeném z dané směsi. Desky vyjmeme z hutnícího rámu a necháme následně vychladnout po 2 dny. Potom se provede porovnání míry zhutnění s výsledky objemových hmotností zjištěných na Marshallových tělesech. Desky, které vyhoví takto stanoveným podmínkám, umístíme do ocelových forem a necháme nejméně po 4 hodiny temperovat na vzduchu na danou teplotu. Následně desky osadíme do vlastního zkušebního zařízení, upevníme šrouby k podložce a necháme opět temperovat na vzduchu minimálně 30 minut. Po vytemperování osadíme kola na zkušební vzorek a zatížíme kola závaží. Následně se spustí zkouška. Kola se pohybují přes desku ve směru tam a zpět. Zatížením kola se ve zkušební desce vyjíždí kolej. Hloubka této koleje se začne měřit po prvních 10 pojezdech. Postupně se zaznamenává hloubka při 50, 1000, 2500, 7500, 10 000, 15 000, 20 000 pojezdech. Výsledkem zkoušky je aritmetický průměr na obou deskách znázorněný na diagramu, ve kterém na vodorovné ose je znázorněn počet pojezdů kolem a na svislé ose se vynáší střední hloubka koleje.

**Obr. 31:** Vyjížděč pro zkoušku odolnosti proti tvorbě trvalých deformací

- **Vzorce** – Výpočet provádíme pomocí normy ČSN EN 12697-22, kde se získají parametry pro zkoušku opakovaného pojíždění kolem.

Průměrný přírůstek hloubky vyjete koleje stanovíme z následujícího vztahu:

$$WTR_{AIR} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}$$

Kde: **WTR<sub>AIR</sub>** je přírůstek hloubky vyjeté koleje (mm) za 10<sup>3</sup> zatěžovacích cyklů

**d<sub>10000</sub>**, **d<sub>5000</sub>** jsou hloubky vyjetých kolejí po 5000 a 10000 cyklech (mm)

Průměrná poměrná hloubka vyjeté koleje **PRD<sub>AIR</sub>** je pak průměr poměrů hloubky vyjeté koleje k tloušťce desky ze dvou zkušebních těles s přesností ± 0,1 %.

### 5.3.2 Vodní citlivost

Asfaltové vrstvy mají problémy se smýváním pojiva z kameniva vlivem povětrnostních a klimatických účinků. Působením vody a teploty dochází ke smývání asfaltového tmele ze zrn kameniva. Takto vypírané kamenivo časem ztrácí schopnost vázat k sobě jednotlivá zrna a tvořit tak materiál, který nám zaručuje požadovanou pevnost a trvanlivost. Postupné vylamování a vypadávání zrn z asfaltových vrstev vede

ke hloubkové korozi a výtlukům. V konečné fázi dojde až k úplné degradaci asfaltové vrstvy v konstrukci vozovky.

Odolnost asfaltových směsí vůči účinkům vody byla dle dříve platných českých předpisů stanovována podle normy ČSN 73 6160. V této normě byly popsány tři různé postupy pro zkoušení asfaltových směsí na odolnost vůči účinkům vody.

- Jednodenní krátkodobou zkoušku
- Sedmidenní zkoušku
- Dlouhodobou zkoušku

Podstatou všech zkoušek je porovnání pevnostních nebo přetvárných parametrů u dvou skupin těles, přičemž první skupina je zkoušena bez vystavení účinkům vody a druhou skupinu temperujeme ve vodní lázni při předepsané teplotě po danou dobu. Výsledek je pak poměr mokrých těles k suchým tělesům.

V současnosti se provádí zkouška podle evropského návrhu normy ČSN EN 12697-12. Zde porovnání poměru mokrých těles k suchým tělesům zůstává zachován s tím, že použijeme pro vyhodnocení parametru pevnosti v příčném tahu podle normy ČSN EN 12697-23.

- **Podstata zkoušky** – Zkoušku provedeme pomocí normy ČSN EN 12697-12 „Asfaltové směsi – zkušební metody pro asfaltové směsi za horka, část 12: Stanovení odolnosti tělesa vůči vodě“. Zde je odolnost vůči účinkům vody definována jako odolnost hutněných zkušebních těles asfaltové směsi vůči účinku vody vyjadřující poměr pevnosti ITSR (indirect tensile strenght ratio) v příčném tahu vlhkých (temperovaných ve vodní lázni) zkušebních těles k pevnosti v příčném tahu suchých zkušebních těles. Výsledek se pak vyjadřuje v procentech. Podstatou je, že sadu zkušebních těles ve tvaru válce rozdělíme do dvou skupin se stejnou objemovou hmotností a velikostí. Jednu skupinu udržujeme při pokojové teplotě v suchu, druhou temperujeme ve vodní lázni. Následně stanovíme procentuální poměr pevnosti v příčném tahu skupiny těles temperovaných ve vodní lázni s pevností v příčném tahu skupiny těles udržovaných ve vzduchu.
- **Zkušební zařízení**
  - Vodní lázeň s regulátorem teploty

- Nádobu na vzorky
  - Perforovaná podložka na dno nádoby
  - Zkušební lis s rychlostí posunu  $50 \text{ mm.min}^{-1}$ , opatřený zatěžovacím pásem
  - Váhu ke stanovení objemové hmotnosti
- **Příprava zkušebního vzorku** – Pro každou sadu zkušebních vzorků vytvoříme nejméně šest zkušebních těles ve tvaru válce, která budou symetrická o průměru  $(100 \pm 3) \text{ mm}$ ,  $(150 \pm 3) \text{ mm}$  nebo  $(160 \pm 3) \text{ mm}$ . Jejich výška by se neměla lišit více jak o  $5 \text{ mm}$  a rozdíly objemových hmotností by se neměl pohybovat v rozmezí  $30 \text{ kg/m}^3$ .
  - **Postup zkoušky** - Připravená Marshallova tělesa rozdělíme na dvě sady. První udržujeme při laboratorní teplotě v suchu  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , druhou umístěné na perforovanou podložku do vodní lázně s destilovanou vodou o teplotě  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Voda musí přesahovat vzorky minimálně o  $2 \text{ mm}$ . Následně se spustí vakuovací přístroj a nechá se na vzorky působit podklad pomocí rtuťového sloupce po dobu  $(10 \pm 1) \text{ minut}$ . Toto vakuum se udržuje po dobu  $(30 \pm 5) \text{ minut}$ . Potom vakuum zrušíme tím, že necháme vniknout do nádoby vzduch. Vzorky následně ještě necháme v lázni po dobu  $(30 \pm 5) \text{ minut}$ , pak se umístí do lázně o teplotě  $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$  po dobu 68 až 72 hodin. Po uplynutí této doby vzorky vyjmeme z lázně, osušíme a provedeme na nich zkoušku v příčném tahu. Rozdíl objemové hmotnosti zhutněných vzorků z obou sad by neměl být větší než  $30 \text{ kg/m}^3$ , výška by měla být v rozmezí  $5 \text{ mm}$ .
  - **Vzor** – Pevnost v příčném tahu ITS (kPa) stanovíme podle následujícího vztahu

$$ITS = \frac{2000P}{\pi DL}$$

Kde: **P** je největší dosažená síla (N)

**D** je průměr zkušebního vzorku (mm)

**L** je výška (délka) zkušebního vzorku (mm)

Průměrnou hodnotu pevnosti v příčném tahu stanovíme jako aritmetický průměr pevností zjištěných nejméně na 3 zkušebních tělesech. Do výpočtu nezapočítáváme hodnoty ITS lišící se od průměru o více než 10 % vypočítané průměrné hodnoty.

Výslednou hodnotu ITSR (indirect tensile strenght ratio) určíme pomocí

následujícího vztahu: 
$$ITSR = \frac{ITS_w}{ITS_d} \times 100$$

Kde: **ITSR** je poměr pevností v příčném tahu (%)

**ITS<sub>w</sub>** je průměr pevnosti v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles (kPa)

**ITS<sub>d</sub>** je průměr pevnosti v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles (kPa)

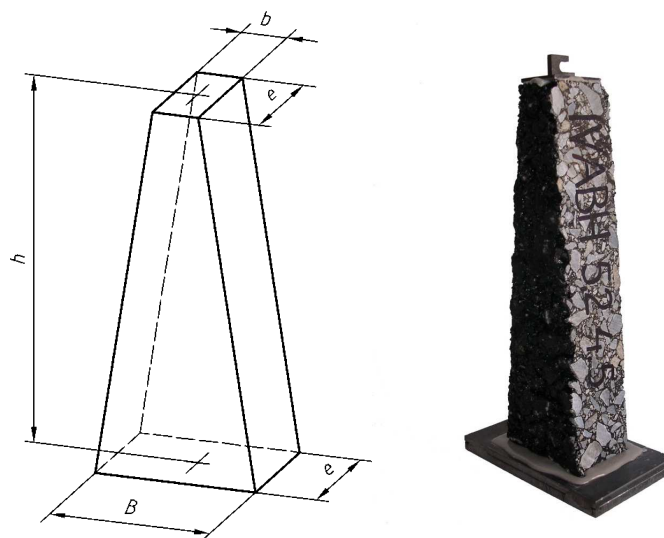
### 5.3.3 Moduly tuhosti

Moduly tuhosti zkoušíme podle normy ČSN EN 12697-26 „Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost“. V našem případě jsme prováděli zkoušku podle přílohy A – „Zkouška ohybem na vetknutém komolém klínu (2PB-TR) nebo na tělesech trámečku (2PB-PR)“. Zkoušky modulů tuhosti slouží k bližšímu popisu vazko-pružného chování směsí. Tyto směsi jsou harmonicky zatěžovány ohybem.

- **Podstata zkoušky** – Předem připravené vzorky asfaltových směsí deformujeme při opakovaném zatěžování nebo při rychlostí řízeném zatěžování působící poměrné přetvoření. Měříme amplitudu napětí a poměrné přetvoření s fázovým rozdílem mezi napětím a poměrným přetvořením. Přetvoření by se mělo pohybovat v rozmezí  $\varepsilon \leq 50 \times 10^{-5}$  v nejvíce namáhané části zkušební vzorku. Po získání fázového úhlu vypočítáme komplexní modul tuhosti při různých teplotách a frekvencích.
- **Zkušební zařízení**
  - Zařízení umožňující vyvodit sinusový dynamický průhyb na vrcholu zkušební tělesa při frekvencích minimálně od 3 Hz do 30 Hz
  - Termostatická odvětrávací komora
  - Snímače pro měření dynamické síly v rozmezí od 0,1 N do 100 N s přesností na 0,5 N až do 10 N
  - Snímače pro měření do 0,2 mm
  - Zařízení měřící fázový úhel s přesností  $\pm 1^\circ \text{C}$

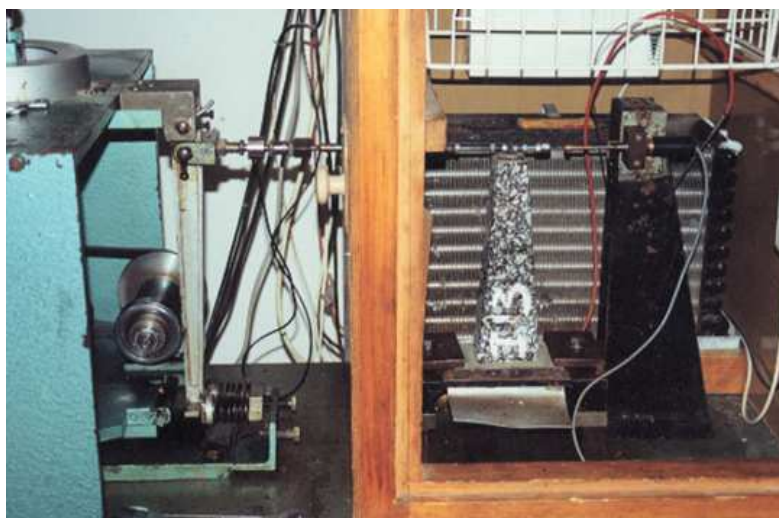
- **Příprava zkušební vzorku** – Zkušební tělesa jsme vyrobili nařezáním desek nahutněných pomocí lamelového zhutňovače. Zkušební tělesa mají tvar komolého klínu (trapezoidu) o rozměrech  $B = 56 \text{ mm}$ ,  $b = 25 \text{ mm}$ ,  $E (e) = 25 \text{ mm}$  a  $H = 250 \text{ mm}$ . Rozměry jsme stanovili podle příslušné normy přílohy A.

**Obr. 32:** Tvar zkušební tělesa



Zkušební tělesa jsme uložili na rovný povrch, kde nejsou vystaveny slunečnímu záření. Tělesa skladujeme při teplotě do  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Následně jsme tělesa změřili s přesností na  $0,1 \text{ mm}$  a zvážili s přesností na  $0,1 \text{ g}$ . Po zvážení a změření rozměrů trapezoidů jsme nanесли lepidlo na spodní stranu, pomocí něhož se trapezoid připevní ke speciálním kovovým podložkám. Na horní část trapezoidů jsme připevnili kovový háček pro uchycení konce ke zkušebnímu zařízení.

**Obr. 33:** Zkušební zařízení pro měření modulů tuhosti



- **Postup zkoušky** – Zkušební tělesa nejdříve stabilizujeme tím, že je odložíme po dobu dvou týdnů před provedením zkoušky. Ještě před provedením zkoušky musíme každé těleso udržet při teplotě, při které chceme zkoušet, po dobu nejméně 4 hodin ve zkušební komoře. Celkové měření probíhá v klimatizované komoře. Spodní část trapezoidu vetkneme do zkušebního zařízení, k horní části připevníme táhlo se snímačem síly a deformace. K boční obdélníkové části připojíme čidlo teploměru. Moduly tuhosti měříme při 5 frekvencích (5 Hz, 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 25 Hz) a 5 teplotách (-5 °C, +10 °C, +15 °C, +25 °C, +40 °C). Jako výsledek se berou měření při 15 °C a frekvenci zatěžování 10 °C.

## 5.4 Výsledky zkoušek

### 5.4.1 Výsledky zkoušek provedených v roce 2010

Zkoušky prováděné v roce 2010 byly ve spolupráci laboratoře VUT v Brně se Sdružením pro výstavbu silnic Praha. Celkem se navrhly 4 směsi (2 směsi pro SMA 8 S a 2 směsi pro SMA 8 LA) s optimálním složením.

První zkouškou, kterou jsme prováděli, byla zkouška stanovení odolnosti vůči vodě (ITSR). Zkušební tělesa jsme rozdělili podle rozměrů a objemových hmotností na tělesa suchá a tělesa mokrá. Následně se stanovila hodnota pevnosti v příčném tlaku suchých a mokrých těles (ITS). Poměrem pevnosti v příčném tlaku suchých těles k mokrým tělesům získáme hodnotu ITSR v procentech.

**Tab. 14:** Výsledky zkoušky stanovení odolnosti zkušebních těles vůči vodě

Druh směsi		ITS - suchá (kPa)	ITS - mokrá (kPa)	ITSR (%)
SMA 8 S	PMB	1466	1130	77,1
SMA 8 LA	PMB	887	618	69,7
SMA 8 S	RmB	1709	992	58,0
SMA 8 LA	RmB	956	561	58,7

Z výsledků vyplývá to, že směsi s pojivem PMB 45/100-75 jsou odolnější vůči účinkům vody oproti směsím s pojivem RmB G 20/60-55, přestože hodnota pevnosti v příčném tlaku na suchých tělesech je vyšší než u směsí s pojivem PMB 45/100-75. Nejlepší výsledky mají asfaltové směsi SMA 8 S, kde bylo zvoleno pojivo PMB

45/100-75. Nejhůře dopadla směs SMA 8 S s gumoasfaltem, ačkoliv má největší hodnotu pevnosti v příčném tlaku.

Jako druhou zkoušku jsme stanovovali odolnost vůči trvalým deformacím. Nízkohlučné asfaltové směsi SMA 8 LA jsou méně odolné proti tvorbě trvalých deformací oproti běžným asfaltovým směsím SMA. Směs SMA 8 S jsou stabilnější, protože mají větší množství asfaltové malty – mastixu, která vyplňuje mezery v kostře kameniva a tyto směsi mají nižší mezerovitost.

**Tab. 15:** Výsledky zkoušky trvalých deformací – každá směs obsahuje 2 desky

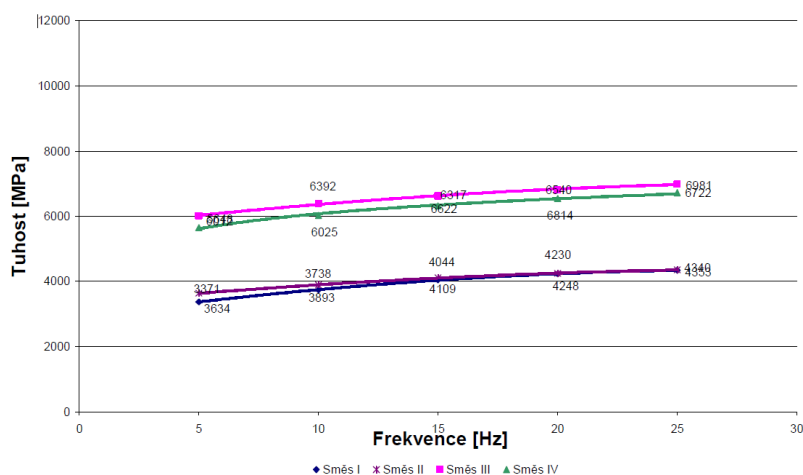
Druh směsi		Hloubka 10 000 pojezdů PRD (%)		Ø	Přírůstek WTS (mm/1000 cyklů)		Ø
SMA 8 S	PMB	2,8	3	<b>2,9</b>	0,036	0,033	<b>0,035</b>
SMA 8 LA	PMB	3,2	3	<b>3,1</b>	0,044	0,034	<b>0,039</b>
SMA 8 S	RmB	1,8	2,4	<b>2,1</b>	0,016	0,022	<b>0,019</b>
SMA 8 LA	RmB	4,3	4,3	<b>4,3</b>	0,094	0,086	<b>0,090</b>

Další zkouškou prováděnou na zkušebních tělesech byla zkouška modulů tuhosti. Z výsledků vyplývá, že směsi SMA 8 LA mají nižší moduly tuhosti.

**Tab. 16:** Výsledky zkoušky modulů tuhosti

Druh směsi	TUHOST při jednotlivých frekvencích (Hz)				
	5	10	15	20	25
SMA 8 LA - PMB	3634	<b>3738</b>	4044	4230	4240
SMA 8 LA - RmB	3871	<b>3893</b>	4109	4248	4359
SMA 8 S - RmB	6042	<b>6392</b>	6317	6540	6981
SMA 8 S - PMB	5842	<b>6025</b>	6633	6814	6722

**Obr. 34:** Graf modulu tuhosti stanovený dvoubodovou zkouškou





**Pozn.:** Směs I – SMA 8 LA/PMB, Směs II – SMA 8 LA/RmB, Směs III – SMA 8 S/RmB, Směs IV – SMA 8 S/PMB

### 5.4.2 Výsledky zkoušek provedených v roce 2011

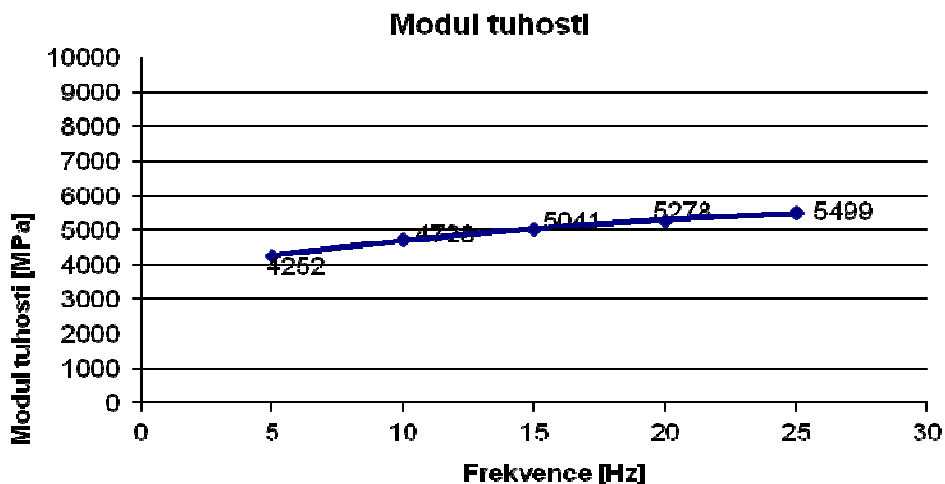
Celkově se na asfaltových směsích provedly základní zkoušky kameniva, pojiva a zkoušky trvalých deformací, vodní citlivosti a modulů tuhosti. Výsledky jsou zaznamenány v následujících tabulkách a grafech.

**Tab. 17:** Výsledky zkoušek z roku 2011

Objemová hmotnost asfaltové směsi	$\rho_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>2999</b>
Mezerovitost zhutněné asfaltové směsi	<b>V (%)</b>	<b>8,1</b>
Poměr pevnosti v příčném tahu	<b>ITSR (%)</b>	<b>96</b>
Poměrná hloubka koleje po 5000 cyklech	<b>PRD<sub>AIR</sub> (%)</b>	<b>1,3</b>
Přírůstek hloubky koleje	<b>WTS<sub>AIR</sub> (mm/103 cyklů)</b>	<b>0,014</b>

Z tabulky vyplývá, že směs je odolnější proti vodě než směsi z předchozího roku. Pevnosti v příčném tahu suchých a mokrých těles jsou srovnatelné a pohybují se kolem 1000 kPa. Také výsledky trvalých deformací jsou příznivější. Modul tuhosti u směsi s pojivem Mexphalte RM+ jsou větší než v roce 2010.

**Obr. 35:** Graf modulů tuhosti



**Tab. 18:** Výsledky modulů tuhosti

Druh směsi	TUHOST při jednotlivých frekvencích (Hz)				
	5	10	15	20	25
SMA 8 LA - Mexphalte RM+	4252	4728	5041	5278	5499

## 6 Závěry

Zkoušky, prováděné v roce 2010, byly prováděny na základě vzájemné spolupráce laboratoře Ústavu pozemních komunikací VUT v Brně a Sdružení pro výstavbu silnic Praha. Šlo o vytvoření nízkohlučné asfaltové směsi SMA 8 LA podle německých předpisů, na kterou byly použity v ČR běžně dostupné frakce kameniva 0/4 a 4/8. Zkoušky však ukázaly, že při změně dávkování těchto frakcí nelze výslednou mezerovitost dostatečně dobře ovlivnit. Příčina spočívá zejména v plynulosti čáry zrnitosti frakce 0/4. Proto byly v roce 2011 použity frakce kameniva 0/2 a 5/8, tak jak uvádějí německé předpisy. Návrhy směsí prokázaly snadnější způsob regulace mezerovitosti při návrzích. Mezerovitost je rozhodující jak pro útlum hluku, tak i pro „stabilitu“ zrn nejhrubší frakce výsledné směsi. V Německu se mezerovitost stanovuje pomocí objemové hmotnosti vážením tělesa ve vodě a na suchu. Zde by měla výsledná mezerovitost se pohybovat v rozsahu hodnot 10 % - 12 %. Avšak ani v Německu neexistuje předpis, který by přesnou hodnotu mezerovitosti stanovoval, proto se v některých podkladech uvádí mezerovitost v rozsahu 8 % - 10 %, kdy se modifikuje způsob stanovení metodou vážením ve vodě a na suchu a ponořené těleso se poklepává o podložku ve vodní lázni, tak aby z něj unikly vzduchové bubliny. Tak se dosahuje nižších mezerovitostí (8 – 10 %), rozhodující je však fakt, že rozptyl výsledků je nižší. Tato modifikovaná metoda byla použita i při popsání návrhů směsí. U navržených směsí se mezerovitosti pohybovaly mezi 8 % - 9 %. Při použití běžného pojiva PMB byla mezerovitost na spodní hranici 8,1 %, při použití gumoasfaltu RmB se nám mezerovitost zvýšila na 8,6 %.

Při vlastním zkoušení směsí lépe dopadly běžné asfaltové směsi mastixové SMA 8 S oproti nízkohlučným směsím SMA 8 LA. Při zkoušení odolnosti vůči vodě jsme zaznamenali nejlepší hodnoty u SMA 8 S a SMA 8 LA s přidáním běžného asfaltového pojiva PMB. Všeobecně však nejlepší hodnoty pevnosti v příčném tlaku měly směsi SMA 8 S RmB a SMA 8 S PMB. Vyplývá z toho, že odolnější vůči účinkům vody jsou směsi s pojivem PMB 45/100-75. Při stanovování trvalých deformací byly opět odolnější směsi SMA 8 S ať už bylo jako pojivo použito PMB nebo gumoasfalt RmB. Nejlepší hodnotu měla směs SMA 8 S s gumoasfaltem. Průměrný přírůstek vyjeté koleje se pohyboval u této směsi kolem 0,019 mm, což je o dost menší oproti SMA 8 LA s RmB, která v této zkoušce vyšla nejhůře a měla hodnotu přírůstku až 0,090 mm.

Logicky jsou směsi SMA 8 S stabilnější, protože mají větší množství mastixu a nižší mezerovitost. Moduly tuhosti u běžných asfaltových směsí SMA 8 S se pohybovaly okolo 6000 MPa. Hodnoty u směsí SMA 8 LA se pohybovaly okolo 4000 MPa. Z výše uvedeného porovnání vyplývá, že u směsí SMA 8 LA je nutno počítat s větší tloušťkou celé konstrukce vozovky (v případě novostavby).

Zkoušení v roce 2011 probíhalo ve spolupráci s firmou M – Silnice. Celkem byly navrženy 3 směsi SMA 8 LA, každá směs s jiným druhem pojiva. Nakonec jako pojivo bylo zvoleno Mexphalt od firmy Shell. Převážně se tak stalo z ekonomických důvodů. Celý projekt byl postaven na správném složení směsi, aby mezerovitost byla v daném rozmezí. Mezerovitost nám vyšla na spodní hranici (8,1 %) podle německých předpisů. Zde musíme brát ohled na trvanlivost celé směsi. Hodnota poměru pevnosti v příčném tahu ITSR (96 %) je o poznání větší než při prvních pokusech dělaných v roce 2010, tudíž je směs odolnější proti účinkům vody. Také deformační vlastnosti celé směsi, získané zkouškou opakovaným pojižděním kola, jsou lepší než v roce 2010.

Ze směsi vyrobené v roce 2011 se vytvořil zkušební úsek, na kterém se provedlo měření hluku pomocí modifikované metody měření akustických parametrů v blízké vzdálenosti CPX. Zmiňovaný úsek se nachází mezi obcemi Horky a Chrast u Chrudimi. Byly vytvořeny celkem 3 dílčí úseky – ACO 11, SMA 8 S, SMA 8 LA a jeden úsek starší vozovky ACO 11. Měřilo se 3 krát v obou směrech při rychlostech 50 km/h, 70 km/hod a 90 km/hod. Výsledky ukázaly, že úsek, kde se položil kryt z SMA LA, měl nejnižší hladinu hluku při všech rychlostech.

Veškeré výsledky ukázaly nový směr, jakým je možné se ubírat v silničním stavitelství při snižování akustické hladiny hluku. Ať už zkoušení z roku 2010 tak i zkoušky z roku 2011 byly velkým přínosem. Jednalo se o první zkušenosti s těmito směsmi.

## **SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:**

ČSN EN 13108-5 Asfaltové směsi – Specifika pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový

ČSN 73 6121 Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody

ČSN EN 13036-4 Povrchové vlastnosti vozovek pozemních komunikací a letištních ploch – Zkušební metody – Část 4: Metoda pro měření protismykových vlastností povrchu – Zkouška kyvadlem

ČSN EN 12697-22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 22: Zkouška pojíždění kolem

ČSN 73 6177 Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchu

ČSN EN 1367-1 Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání – část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka, část 12: Stanovení odolnosti tělesa vůči vodě

ČSN EN 12697-26 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 26: Tuhost

Asfaltové obrusné vrstvy s požadovanými protismykovými vlastnostmi – Katalog postupů a opatření pro plánování a provedení

Německá literatura týkající se protismykových vlastností vozovek

Ibrahim M., Evaluating skid resistance of different asphalt concrete mixes

HERMES Final Report

Gerardo W. Flintsch, Pavement surface macrotexture measurement and application

R. Muniandy, A. A Mohamed, M. O. Hamzah, Texture depth determinativ for stone mastix asphalt

P.D. Cenek, The influence of texture depth on skidding resistance

Německá literatura týkající se nízkohlučných asfaltových koberců mastixových

Doc. Dr. Ing. Michal Varaus, Nízkohlučné asfaltové koberce mastixové

Doc. Ing. Václav Hanzík, CSc., Nové úpravy typu SMA

Časopisy Silnice mosty, Silnice železnice

Diplomové práce

Ing. Jana Gottvaldová, Experimentální měření valivého hluku v silniční dopravě  
(disertační práce)

## **SEZNAM OBRÁZKŮ:**

<b>Obr. 1:</b> Čára zrnitosti u asfaltových mastixových směsí .....	<b>11</b>
<b>Obr. 2:</b> Porovnání textury SMA a AC.....	<b>12</b>
<b>Obr. 3:</b> Princip výpočtu střední hloubky profilu povrchu vozovky (MPD) .....	<b>18</b>
<b>Obr. 4:</b> Kyvadlo .....	<b>20</b>
<b>Obr. 7:</b> Vozidlo SCRIM.....	<b>20</b>
<b>Obr. 8:</b> Měřicí zařízení GRIPTESTER .....	<b>21</b>
<b>Obr. 9:</b> Vozidlo Tatra Runway Tester.....	<b>22</b>
<b>Obr. 10:</b> Pokládka asfaltového koberce mastixového. Vybrané úseky s podrcením 1,7 kg/m <sup>2</sup> a 2,0 kg/m <sup>2</sup> .....	<b>30</b>
<b>Obr. 11:</b> Povrch komunikace bez podrcení a s podrcením 1,7 kg/m <sup>2</sup> .....	<b>30</b>
<b>Obr. 12:</b> Radiální vibrace .....	<b>33</b>
<b>Obr. 13:</b> Air pumping.....	<b>34</b>
<b>Obr. 14:</b> Tření dezénových bloků pneumatiky a povrchu vozovky .....	<b>34</b>
<b>Obr. 15:</b> Trychtýřový efekt.....	<b>35</b>
<b>Obr. 16:</b> Mechanismy zesílení zvuku .....	<b>35</b>
<b>Obr. 17:</b> Pokládka směsi Viaphone .....	<b>40</b>
<b>Obr. 18:</b> Porovnání oboru zrnitosti u směsí SMA 8 S (vlevo) a SMA 8 LA (vpravo) .....	<b>45</b>
<b>Obr. 19:</b> Vlevo – nový typ směsi SMA 8 LA s vyšší mezerovitostí, uprostřed – dtto po 2 letech používání a vpravo běžná směs SMA 8 S po 2 letech používání .....	<b>45</b>
<b>Obr. 20:</b> Sada kontrolních sít .....	<b>46</b>

<b>Obr. 21:</b> Dvoučelistové posuvné měřítko .....	47
<b>Obr. 22:</b> Otlukový buben Los Angeles .....	49
<b>Obr. 23:</b> Penetrace, penetroměr .....	53
<b>Obr. 24:</b> Podstata zkoušky vrátne duktility, forma na vzorek .....	55
<b>Obr. 25:</b> Příklad návrhu čáry zrnitosti pro asfaltovou směs .....	57
<b>Obr. 26:</b> Graf závislosti objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi a maximální objemové hmotnosti na obsahu pojiva v % hmotnosti .....	58
<b>Obr. 27:</b> Graf závislosti objemové mezerovitosti asfaltové směsi a stupně vyplnění mezer na obsahu pojiva v % hmotnosti .....	58
<b>Obr. 28:</b> Graf závislosti mezerovitosti směsi kameniva na obsahu pojiva v % hmotnosti .....	58
<b>Obr. 29:</b> Asfaltové pojiva (mastix, drcená guma) .....	59
<b>Obr. 30:</b> Makrotextura povrchu SMA 8 LA frakce 0 – 2, 5(6) – 8 a makrotextura povrchu SMA 8 LA frakce 0 – 4, 4 – 8. Mezerovitost směsí je srovnatelná .....	62
<b>Obr. 31:</b> Vyjízďeč pro zkoušku odolnosti proti tvorbě trvalých deformací .....	66
<b>Obr. 32:</b> Tvar zkušební tělesa .....	70
<b>Obr. 33:</b> Zkušební zařízení pro měření modulů tuhosti .....	70
<b>Obr. 34:</b> Graf modulu tuhosti stanovený dvoubodovou zkouškou .....	72
<b>Obr. 35:</b> Graf modulů tuhosti .....	73

## **SEZNAM TABULEK:**

<b>Tab. 1:</b> Jedny z dynamických zařízení, které se zúčastní projektu HERMES .....	24
<b>Tab. 2:</b> Příklady vlivu konstrukce obrusné vrstvy na snížení či zvýšení hladiny hluku při rychlostech $\geq 50 \text{ km.h}^{-1}$ (dle německé Směrnice pro ochranu před hlukem ze silničního provozu RLS-90) .....	38
<b>Tab. 3:</b> Požadavky na směsi SMA 8 LA .....	44
<b>Tab. 4:</b> Výsledky základních zkoušek pojiv .....	59
<b>Tab. 5:</b> Sítový rozbor frakcí kameniva .....	60
<b>Tab. 6:</b> Obsah jemných částic frakcí kameniva .....	60
<b>Tab. 7:</b> Sítový rozbor frakcí kameniva .....	60
<b>Tab. 8:</b> Dávkování jednotlivých frakcí kameniva .....	61
<b>Tab. 9:</b> Výsledky jednotlivých zkoušek kameniva .....	61
<b>Tab. 10:</b> Sítový rozbor jednotlivých frakcí kameniva .....	62

<b>Tab. 11:</b> Obsah jemných částic kameniva .....	<b>63</b>
<b>Tab. 12:</b> Výsledky zkoušek pojiv .....	<b>63</b>
<b>Tab. 13:</b> Celkový návrh složení asfaltové směsi v %.....	<b>63</b>
<b>Tab. 14:</b> Výsledky zkoušky stanovení odolnosti zkušebních těles vůči vodě.....	<b>71</b>
<b>Tab. 15:</b> Výsledky zkoušky trvalých deformací – každá směs obsahuje 2 desky .....	<b>72</b>
<b>Tab. 16:</b> Výsledky zkoušky modulů tuhosti .....	<b>72</b>
<b>Tab. 17:</b> Výsledky zkoušek z roku 2011 .....	<b>73</b>
<b>Tab. 18:</b> Výsledky modulů tuhosti.....	<b>73</b>

## **SEZNAM PŘÍLOH:**

[A] Hluková studie

# ***Příloha A***

## ***Hluková studie***